ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ – УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ

Драгутин Т. Михаиловић **Бранислава Лалић** **Илија Арсенић**

П Р А К Т И К У М

И З

М Е Т Е О Р О Л О Г И Ј Е

Нови Сад, 2012.

П Р А К Т И К У М И З М Е Т Е О Р О Л О Г И Ј Е

Аутор:
Проф. др Драгутин Т. Михаиловић, доц. Бранислава Лалић, мр Илија Арсенић

Главни и одговорни уредник:
Проф. др Милан Крајиновић

Рецензенти:
Проф. Агнеш Капор
Проф. Мирослав Малешевић

Издавач:
Пољопривредни факултет, Нови Сад

Тираж:
1000 примерака

Штампарија:
Стојков Штампарија, Нови Сад

CIP – Каталогизација у публикацији
Библиотеке Матице српске, Нови Сад

551.50.(075.8)(076)

МИХАИЛОВИЋ, Драгутин Т.
Практикум из метеорологије/ Драгутин Т. Михаиловић, Бранислава Лалић, Илија Арсенић. – Нови Сад : Пољопривредни факултет, 2008 (Нови Сад : Фељтон). – 262 стр. : илустр. ; 24 cm

Тираж 1.000 – Библиографија. – Регистар.

ISBN 978-86-7520-145-8
1. Лалић, Бранислава 2. Арсенић, Илија
а) Метеорологија

ПРЕДГОВОР

Овај практикум је написан, првенствено, да би служио студентима Пољопривредног факултета у Новом Саду за праћење наставе и вежби и спремање испита из метеорологије. Он у потпуности обухвата садашње наставне програме за предмет Метеорологија који слушају студенти: Смера за ратарство и повртарство, Смера за фитофармацију, Смера за хортикултуру, Смера за воћарсво и виноградарство, Смера за општи студијски програм, Смера за агроекологију и заштиту животне средине и Смера за уређење, коришћење и заштиту вода у оквиру једносеместралних курсева који су прилагођени критеријумима за студије по Болоњској конвенцији.

При избору садржаја и при писању сусрели смо се с потешкоћама које као да имају тежину нужности у таквим приликама. Требало је будуће стручњаке у пољопривредној науци и пракси упознати с неким основним појмовима из метеорологије, а и указати им на методске поступке којима се долази до метеоролошког податка. Ово је учињено деобом практикума у две, могло би се рећи, самосталне целине. Први део - Метеоролошка осматрања и инструменти садржи дефиниције неких појмова у метеорологији; опис, намену и начин употребе скоро свих метеоролошких инструманата као и организацију метеоролошких осматрања. Други део - Основе обраде метеоролошких података садржи неке методске поступке, једноставније и сложеније, којима се долази до метеоролошких података и параметара значајних са становишта биљне производње и уређења и коришћење вода у пољопривреди. Извесно је да би други део другачије изгледао у областима где се метеорологија граничи са другим дисциплинама пољопривредне науке и праксе. У оба дела су укључени и задаци који су у већој или мањој мери проблемске целине које се могу препознати у пољопривредној пракси. Подаци о коришћењу и наведеној литератури, сређени по абецедном редоследу аутора, исписани су на крају књиге.

Током писања књиге користили смо, за део XI и XV главе, рукописе дипл. физичара Божидара Ковачевића. Стеван Бођа, Владимир Ђаковић, дипл. физичар Ана Ћиришан и дипл. физичар Алберт Руман су својим високим професионалним нивоом обраде података и израде задатака, графикона и цртежа остварили значајан допринос. Рецензентима проф. Агнеш Капор и проф.

Мирославу Малешевићу изражавамо захвалност за писање рецензије у пожељним роковима као и на примедбама од којих смо неке у потпуности, а неке делимично прихватили.

Нови Сад 2008. Аутори

С А ДРЖА Ј

Први део :

МЕТЕОРОЛОШКА ОСМАТРАЊА И ИНСТРУМЕНТИ

1

ОРГАНИЗАЦИЈА МЕТЕОРОЛОШКИХ ОСМАТРАЊА

1.1 Организација Глобалног осматрачког система

Метеорологија је наука која се бави проучавањем физичких процеса који се одвијају у атмосфери. Основу за тумачење процеса у атмосфери чине метеоролошки елементи. Под ***метеоролошким елементом*** подразумева се једна атмосферска променљива или појава која карактерише стање атмосфере на одређеном месту и у одређеном тренутку. До вредности метеоролошких елемената долази се поступком осматрања. ***Метеоролошко осматрање*** је процена или мерење једног или више метеоролошких елемената.

У свету постоји свакодневна потреба за метеоролошким подацима који се користе за поједине облике метеоролошких истраживања и оперативну праксу. Ти подаци се обезбеђују преко мреже осматрачких станица, при чему дефиниција мреже осматрачких станица произилази из наведених потреба и анализе просторних и временских размера атмосферских процеса који се истражују. О овоме бригу води Светска метеоролошка организација (СМО), специјализована агенција Уједињених нација, преко система Светског метеоролошког бдења (СМБ). Овај систем се састоји од три подсистема. То су: Глобални осматрачки систем (ГОС), Глобални телекомуникациони систем (ГТС) и Глобални систем за обраду података (ГСОП).

Захтеви за осмотреним подацима проистичу из временских и просторних размера атмосерских процеса и појава које се истражују. Класификација метеоролошких феномена и схематска илустрација просторних и временских размера система кретања

у атмосфери, приказани су у табели 1.1 и на слици 1.1. Ти захтеви за осмотреним подацима класификују се као:

а. глобални захтеви, који се односе на осмотрене податке потребне за општи опис метеоролошких појава и процеса планетарних и великих размера;
б. регионални захтеви, који се односе на осматрања потребна за детаљнија описивања атмосферских процеса и појава планетарних и великих размера, као и за општи опис појава и процеса мањих размера и
в. национални захтеви, које одређује свака земља у складу са својим потребама.

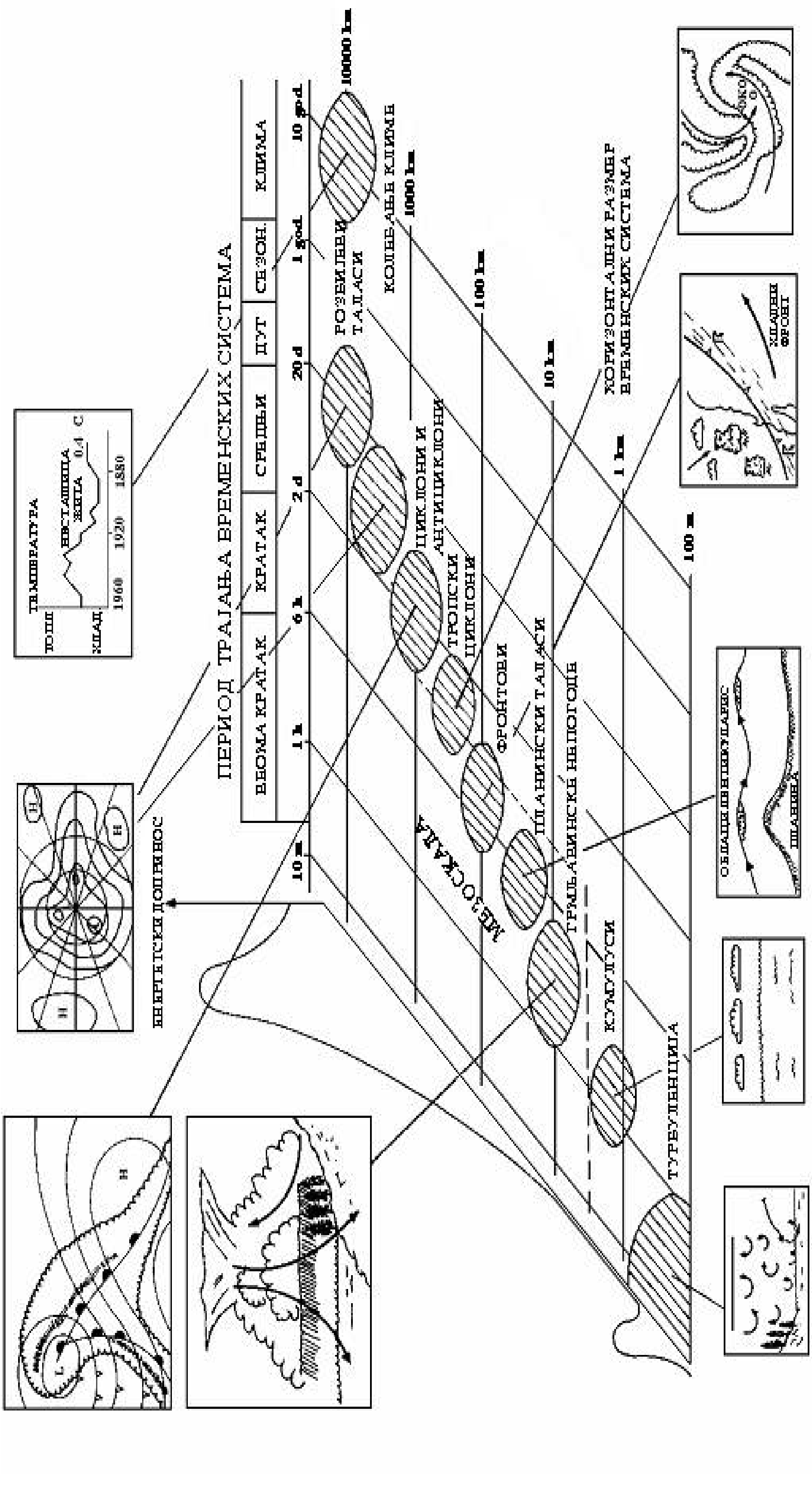
1. Мале размере	(мање од 100 km; на пример: грмљавине, локални ветрови, торнада)
2. Мезоразмере	(100-1000 km; на пример: фронтови и облачни системи)
3. Велике размере	(1000-5000 km; на пример: депресије и антициклони)
4. Планетарне размере	(веће од 5000 km; на пример: дуги таласи у тропосфери)

Табела 1.1 Класификација размера метеоролошких феномена

У сагласности са три врсте захтева за осмотреним подацима постоје и три врсте осматрачких станица: глобална, регионалне и националне мреже. Распоред станица и честина осматрања су прилагођене физичким размерама описиваних метеоролошких феномена.

Глобална мрежа се успоставља за задовољење глобалних захтева и утврђује се од стране Комисије СМО за основне системе. Програм осматрања у овој мрежи треба да осигура метеоролошке податке такве тачности и просторног и временског разлагања, који ће омогућити описивање просторних и временских промена метеоролошких феномена и процеса великих и планетарних размера.

Регионалне мреже се успостављајуу складу са регионалним захтевима и њихов састав одређују регионална удружења. Хоризонтално разлагање код ових мрежа утврђено је Стручним правилником СМО.



Слика 1.1 Шематски приказ просторних и временских размера кретања у атмосфери (Извештај радне групе Колегијума директора хидрометеоролошких завода, 1984).

Националне мреже се успостављају, првенствено, за задовољење сопствених интереса. Међутим, при изградњи ове врсте мреже мора се водити рачуна и о захтевима за употпуњавање глобалне и регионалне мреже.

Осматрачке мреже за процесе глобалних и регионалних размера утврђују одрговарајући органи СМО, односно Конгрес или регионална удружења. Међутим, организација, програм рада, техничка опремљеност и кадровска оспособљеност националних осматрачких мрежа су у искључивој надлежности државе - чланице СМО.

За изградњу, одржавањеи развој дела ГОС на територији појединих држава одговорна је само држава. Програм изградње ГОС (изградња нових, побољшање постојећих компонената) утврђују се Планом Светског метеоролошког бдења који се, за четворогодишње интервале, утврђује и доноси на Конгресу СМО.

Законски носилац организације метеоролошких осматрања у нашој земљи је Републчки хидрометеоролошки завод (РХМЗ).

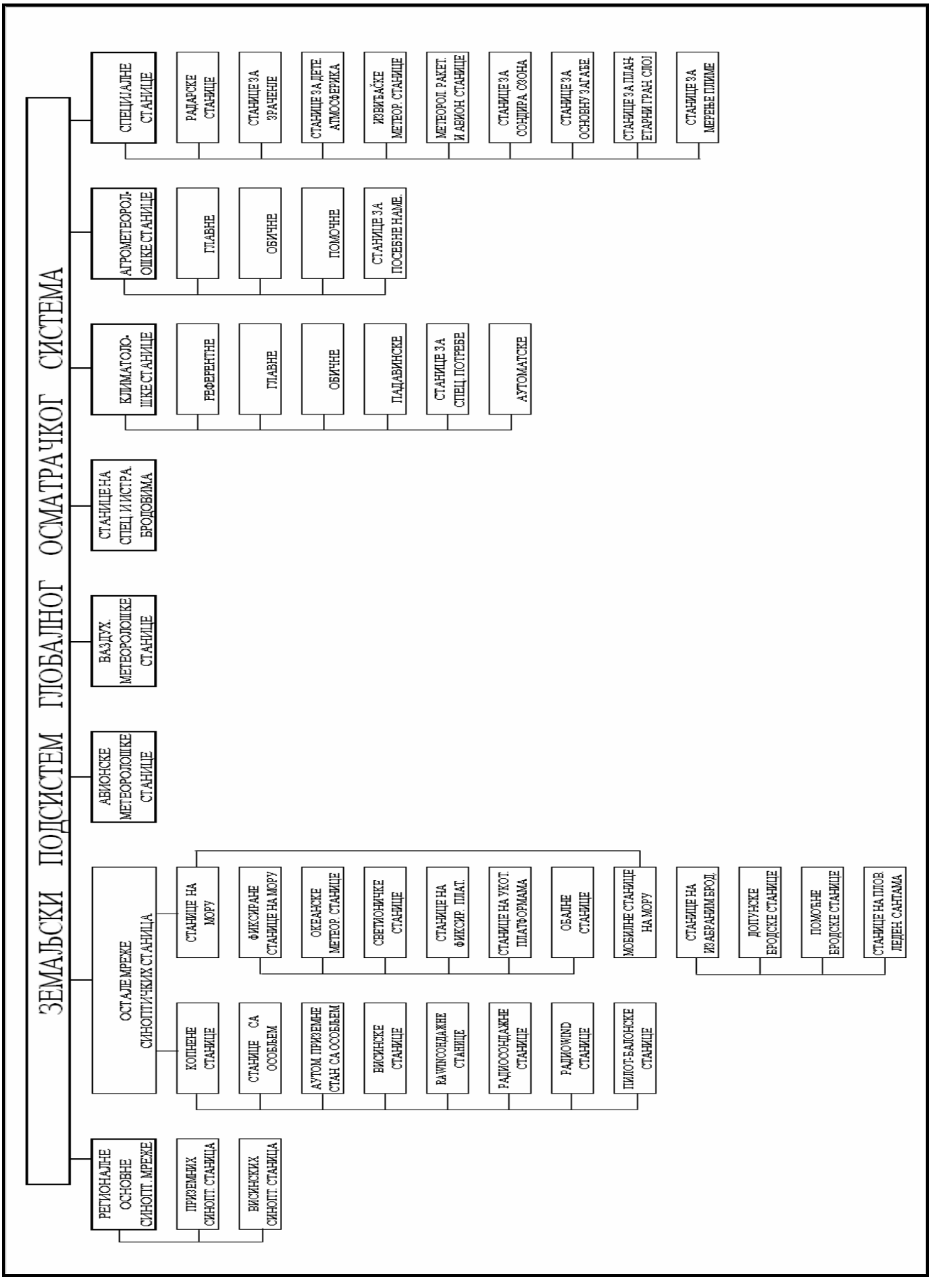
1.2 Подсистеми Глобалног осматрачког система

Глобални осматрачки систем, који има задатак да осигура метеоролошке и друге одговарајуће податке неопходне за оперативне и истраживачке сврхе, има два подсистема: 1. земаљски и 2. космички подсистем.

Главни елементи ***земаљског осматрачког подсистема*** су: регионалне основне синоптичке мреже, друге мреже синоптичких станица и авионске метеоролошке станице (табела 1.2). Регионалну синоптичку мрежу утврђују регионалне асоцијације, а државе су обавезне да је успоставе. Иначе регионална синоптичка мрежа се састоји од мреже висинских и мреже приземних станица.

Главне копнене станице треба да буду постављене на растојање не већем од 300 km. Ово се односи и на станице у регионалној основној синоптичкој мрежи.

Фиксиране и мобилне станице на мору треба да обезбеде есенцијалне метеоролошке и океанографске податке са критичних места или морских области.



Табела 1.2 Композиција земаљског подсистема Глобалног осматрачког система

Осим наведених елемената постоје и други елементи земаљског подсистема. То су: мреже ваздухопловних метеоролошких станица, станице на истраживачким и специјалним бродовима, климатолошке станице, агрометеоролошке станице и специјалне станице.

Мреже наведених станица успостављају се према потребама одређених држава али по нормативима које утврђује Светска метеоролошка организација и Међувладина океанографска комисија.

Станице у мрежи треба да буду постављене на место које омогућује погодну изложеност инструмената и задовољавајуће инструментално осматрање.

У зависности од врсте станица постоје и различити програми осматрања.

Приземна синоптичка осматрања на ***главним копненим станицама*** обухватају осматрања: садашњег времена, прошлог времена, правца и брзине ветра, облачности, врсте облака, висине базе облака, видљивости, температуре ваздуха, влажности ваздуха, атмосферског притиска, тенденције притиска, карактеристике тенденције притиска, екстремних температура ваздуха, количине падавина, стања тла, правца кретања облака и специјалних појава.

На ***океанографским метеоролошким станицама***, приземна синоптичка осматрања обухватају осматрања следећих елемената: садашње време, прошло време, правац и брзина ветра, облачност, врста облака, висина базе облака, видљивост, температура ваздуха, влажност ваздуха, атмосферски притисак, тенденције притиска, брзина и курс брода, температура мора, правац кретања таласа, период таласа, висина таласа, лед у мору и специјалне појаве.

На ***главним аутоматским копненим станицама***, приземна синоптичка осматрања обухватају осматрање углавном следећих елемената: атмосферски притисак, правац и брзина ветра, температура ваздуха, влажност ваздуха и падавине. У зависности од врсте и опремљености станице у осматрање могу бити укључени и други елементи.

Висинска синоптичка осматрања подразумевају осматрања једног или више следећих елемената: атмосферски притисак, температуре ваздуха, влажност ваздуха и брзина и правац ветра.

На ***главним климатолошким станицама*** осматрају се следећи елементи: време, ветар, облачност, врсте облака, висина базе облака, видљивост, температура ваздуха (укључујући екстремне температуре), влажност ваздуха, атмосферски притисак,

падавине, снежни покривач, сијање сунца и температура земљишта на једној или више следећих дубина : 2 cm, 5 cm, 10 cm , 20 cm, 50 cm, 100 cm, 150 cm и 300 cm.

На ***обичним климатолошким станицама*** осматрају се екстремне температуре ваздуха и количине падавина и, ако је могуће, неки од напред поменутих елемената.

На ***агрометеоролошким станицама*** програм осматрања обухвата неке или све елементе физичке средине и то:

а. температура и влажност ваздуха на различитим нивоима у слоју близу подлоге (од површине земљишта до око 10 m висине где преовлађује вегетација), укључујући екстремне вредности ових елемената;

б. температура земљишта на дубинама од 2 cm, 5 cm, 10 cm, 20 cm, 30 cm, 50 cm и 100 cm и на додатним дубинама за посебне намене и у шумским областима;

в. влажност земљишта (садржај воде) на разним дубинама;

г. турбуленција и мешање ваздуха у доњем слоју (укључујући мерење ветра на разним висинама);

д. хидрометеори (киша, снег) и други фактори који утичу на влажност (град, роса, магла, испаравање са земљишта и слободне водене површине, транспирација биљака и отицање воде) и

ђ. Трајање сунчевог сјаја и зрачење.

Програм осматрања на агрометеоролошким станицама обухвата и осматрање биолошке природе и то:

а. фенолошка осматрања;

б. осматрања развића биљака (према захтевима за успостављање биоклиматских односа);

в. осматрање квалитета и квантитета приноса житарица и сточарске производње;

г. осматрање штета које време причињава биљкама и животињама (штетни утицај мраза, града, поплава, суше) и

д. осматрање штета проузрокованих биљним болестима, штеточинама и загађењем ваздуха.

На ***специјалним метеоролошким станицама*** врше се осматрања: облака и хидрометеора помоћу радара, зрачења, атмосферика, температура ваздуха, ветра и

густине ваздуха на великим висинама, основне загађености и промењивих у планетарном граничном слоју.

Космички подсистем Глобалног осматрачког система допуњава земаљски подсистем Глобалног осматрачког система у обезбеђивању информација за задовољење захтева Светског метеоролошког бдења за подацима. Космички подсистем има део на Земљи и у космосу.

У оквиру космичког дела, метеоролошки сателити се деле на две групе: једну чине сателити у орбитама изнад поларних области, а други сателити у геостационарним орбитама.

Земаљски део чине разне станице са разним функцијама. Са једне стране су велике централне станице за прикупљање и обраду података, а са друге стране су инсталације којима су опремљени разни корисници.

1.3 Време и честина осматрања

Време и честина осматрања су утврђени на основу захтева за праћењем промене или развоја метеоролошког елемента или атмосферског феномена.

Средње гриничко време (СГВ) је такозвано зонско време које важи за све земље у Западној Европи које леже приближно између 7,5 степени западне и 7,5 степени источне дужине. Ово време је међународно усвојено као Светско време (СВ).

Службено часовно време је оно време по коме се равнају часовници у нашој држави. То време се саопштава преко радија или добија од поште или железничке станице. Ово време се зове Средњоевропско време (СЕВ) или тачније средње средњоевропско време. То је такозвано зонско време које важи за све земље у Средњој Европи које леже приближно 7,5 и 22,5 степени источне дужине.Време се бележи четвороцифреним бројем, на пример 0015, 0720, итд.

Средње гриничко време заостаје према Средњоевропском времену за један час. На пример, када је у Средњој Европи 0700, у Западној Европи је 0600 часова.

Месно (локално) време (МВ) или тачније средње месно време добија се кад се од службеног часовног времена одузме или дода онолико минута колико је потребно Сунцу да у свом привидном кретању пређе пут од дотичне станице до 15-ог подневка, односно од 15-ог подневка до станице ако се станица налази западно од 15-ог подневка.

Пошто Сунце прелази за један час 15 степени, а за 1 временски минут 15 минута географске дужине, то је лако израчунати Месно време сваког појединачног места. На пример, Нови Сад има географску дужину $19^{o}\ 31^{'}$ источно од 15-ог подневка. То одостојање Сунце прелази за 18 минута раније од службеног времена. Отуда Средње месно време у Новом Саду иде испред службеног времена за 18 минута, тако да се осматрања по Месном времену у Новом Саду обавља у 0642, 1342 и 2042 часова.

На станицама које се налазе на 15-ом подневку, Месно време се поклапа са службеним временом.

Право Сунчево време је време које се одређује по привидном кретању Сунца, узимајући за подне тренутак када се средиште сунца налази над јужном тачком хоризонта. У том тренутку сенка усправног ступа пада тачно према северу. Право Сунчево време разликује се од службеног и од Средњег месног времена, и то из разлога што је у току године привидно кретање сунца по небу неравномерно, док тачни сатови иду равномерно. Према томе, ни право Сунчево подне не настаје у исто време (по службеном времену) већ некад раније некад касније. У који час и минут по службеном времену настаје право Сунчево подне израчунава се помоћу табеле 1.3 за сваки дан у години.

Да би се добило право сунчево подне треба најпре знати Средње месно време дотичног места па у табели 1.3 наћи временску корекцију у минутима за дотични дан и одузети је од Средњег месног времена дотичног места. На пример, ако се жели да одреди право подне у Новом Саду 1. октобра треба да се зна да је подне по Средње месном времену у том месту 1142 СЕВ. Затим се види у табели 1.3 да временска корекција за 1. октобар износи 10 минута. Према томе у Новом Саду је право подне 1. октобра у 1132 СЕВ.

Главни стандардни термини за приземна синоптичка осматрања су 0000, 0600, 1200 и 1800 СГВ, а ***стандардни међутермини*** су 0300, 0900, 1500 и 2100 СГВ.

На главним копненим станицама синоптичка осматрања се врше осам пута дневно у главним и стандардним међутерминима. На фиксним станицама приземна синоптичка осматрања се врше у главним и стандардним међутерминима. На обичним станицама на мору осматрања се врше у главним стандардним терминима, а ако је могуће и у стандардним међутерминима. На аутоматским станицама приземна синоптичка осматрања се врше најмање у главним стандардним терминима.

Стандардно време висинских синоптичких осматрања је 0000, 0600, 1200, 1800 СГВ. На висинским синоптичким станицама, честина осматрања треба да буде четири пута на дан у стандардним временима висинских синоптичких осматрања. На једној висинској синоптичкој станици висинска осматрања треба да се врше најмање у 0000 и 1200 СГВ.

Осматрања на климатолошким станицама треба да се врше у одређеним сатима било по Средњем гриничком или по Месном времену у 0700, 1400 и 2100 час.

Дан	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	-3	-14	-13	-4	3	2	-3	-6	0	10	16	11
2	-4	-14	-12	-4	3	2	-4	-6	0	10	16	11
3	-4	-14	-12	-4	3	2	-4	-6	0	11	16	10
4	-5	-14	-12	-3	3	2	-4	-6	1	11	16	10
5	-5	-14	-12	-3	3	2	-4	-6	1	11	16	10
6	-6	-14	-12	-3	3	2	-4	-6	1	12	16	9
7	-6	-14	-11	-2	3	1	-5	-6	2	12	16	9
8	-6	-14	-11	-2	3	1	-5	-6	2	12	16	8
9	-7	-14	-11	-2	4	1	-5	-6	2	12	16	8
10	-7	-14	-11	-2	4	1	-5	-5	3	13	16	8
11	-8	-14	-10	-1	4	1	-5	-5	3	13	16	7
12	-8	-14	-10	-1	4	1	-5	-5	3	13	16	7
13	-8	-14	-10	-1	4	0	-5	-5	4	13	16	6
14	-9	-14	-10	-1	4	0	-6	-5	4	14	16	6
15	-9	-14	-9	0	4	0	-6	-4	4	14	15	5
16	-10	-14	-9	0	4	0	-6	-4	5	14	15	5
17	-10	-14	-9	0	4	0	-6	-4	5	14	15	4
18	-10	-14	-8	0	4	-1	-6	-4	6	15	15	4
19	-11	-14	-8	1	4	-1	-6	-4	6	15	15	3
20	-11	-14	-8	1	4	-1	-6	-4	6	15	15	3
21	-11	-14	-8	1	4	-1	-6	-3	7	15	14	2
22	-11	-14	-7	1	4	-2	-6	-3	7	15	14	2
23	-12	-14	-7	1	3	-2	-6	-3	7	15	14	1
24	-12	-13	-7	2	3	-2	-6	-3	8	16	13	1
25	-12	-13	-6	2	3	-2	-6	-2	8	16	13	0
26	-12	-13	-6	2	3	-2	-6	-2	8	16	13	0
27	-13	-13	-5	2	3	-3	-6	-2	9	16	13	-1
28	-13	-13	-5	2	3	-3	-6	-1	9	16	12	-1
29	-13	-13	-5	2	3	-3	-6	-1	9	16	12	-2
30	-13		-5	2	3	-3	-6	-1	10	16	12	-2
31	-13		-5		3		-6	-1		16		-3

Табела 1.3 Корекција за израчунавање правог времена

1.4 Агрометеоролошка осматрања

Агрометеорологија проучава интеракцију између времена и климе с једне стране, и пољопривредних и шумских култура, биљних болести и штеточина с друге стране. За извршавање својих задатака агрометеорологији су потребни подаци осматрања физичке средине у којој биљка расте и развија се и биолошки подаци.

Осматрање физичке средине - Осматрања физичких елемената климе врши се у циљу утврђивања стварне и потенцијалне пољопривредне производње и процене оштећења изазваних неповољним временским појавама. Стога су неопходна осматрања свих оних климатских елемената који су у вези са географском климатологијом, а нарочито оних који омогућавају тумачење процеса у приземном слоју атмосфере и ризосфери.

Програм осматрања на агрометеоролошким станицама обухвата неке или све елементе физичке средине, како је наведено у поглављу 1.2. Поред стандардних осматрања често су за агро-микрометеоролошка истраживања потребна и детаљнија осматрања нестандардне природе.

Осматрање биолошке природе - Поред осматрање физичке средине, истовремено је потребно и процењивање њеног утицаја на пољопривредне и шумске културе. Стандардна климатолошка осматрања треба допунити стандардним биолошким осматрањима, која обухватају фенолошка и фенометријска осматрања:

а. фенолошка осматрања на пољопривредним и шумским културама и дивљем зељастом биљу;
б. осматрања пораста и развића биљака (ради утврђивања односа између физичке средине и промена биомасе);
в. осматрања квалитета и квантитета приноса пољопривредних култура;
г. осматрања директних штета на пољопривредним културама (неповољни утицај мраза, града, суше и поплава);
д. осматрања штета проузрокованих биљним болестима и штеточинама уколико на њих утичу метеоролошки услови;
ђ. осматрања промена на биљкама насталих због загађења и
е. осматрања промена на биљкама насталих због сумпорних киша.

За потребе фундаменталних истраживања, зависно од проблема врше се и детаљнија биолошка осматрања.

Основна јединица за извршавање програма осматрања неопходних за извршење задатака агрометеорологије је агрометеоролошка станица. ***Агрометеоролошка станица*** је станица која обезбеђује податке о односу времена и живота биљака и животиња. У зависности од програма осматрања агрометеоролошке станице се деле на: главне агрометеоролошке станице, обичне агрометеоролошке станице и агрометеоролошке станице за посебне намене.

Главна агрометеоролошка станица је станица која даје детаљније истовремене метеоролошке и биолошке информације и где се врше агрометеоролошка истраживања. Инструменти, обим и честина осматрања, како у области метеорологије тако и у области биологије, као и професионално особље су такви да се могу вршити фундаментална истраживања од интереса за одређене земље и регионе.

Обична агрометеоролошка станица је станица која даје истовремене стандардне метеоролошке и биолошке информације и која се може опремити тако да помаже у истраживању специфичних проблема. У целини гледано, програм биолошких фенолошких осматрања за истраживања односи се на локални климатски режим станица.

Агрометеоролошка станица за посебне намене је агрометеоролошка станица која повремено или стално врши осматрања једног или неколико елемената и/или одређених појава.

При оснивању агрометеоролошких станица потребно је водити рачуна да буду задовољени одређени критеријуми који се односе на: производну репрезентативност локације, густину и распоред станица и сталност положаја станице.

Производна репрезентативност локације - Агрометеоролошка станица треба да буде постављена на местима значајним и репрезентативним за пољопривреду и шумарство шире околине по:

а. пољопривредној производњи;
б. распрострањености културних и дивљих биљака;
в. надморској висини и
г. облику и положају терена.

Пре свега то се односи на: производна подручја с различитим педоклиматским условима, подручја за пољопривреду и сточарство, подручја значајна за шумарство, пољопривредне и шумарске институте, пољопривредне производне организације, националне паркове и полигоне противградне одбране.

Густина мреже агрометеоролошких станица зависи од више фактора пре свега од: просторне расподеле пољопривредних култура и шумског дрвећа, климатских и педолошких специфичности подручја, надморске висине и рељефа.

При успостављању мреже агрометеоролошких станица потребно је водити рачуна да:

а. свако веће фито-географско подручје треба да има бар једну агрометеоролошку станицу;
б. свака област карактеристична за посебан ефекат пољопривреде (ратарство, воћарство, виноградарство итд.), сточарства и шумарства треба да има довољан број обичних агрометеоролошких станица;
в. у брдско-планинским подручјима мрежа станица треба да буде гушћа него у равничарским крајевима.

Сталност положаја - Агрометеоролошка станица се поставља на местима на којима је обезбеђена сталност времена и услова агрометеоролошких осматрања. Наиме, свака агрометеоролошка станица треба да ради најмање 10 година, с тим да се услови осматрања не могу мењати у тој мери да утичу на хомогеност низова осматрања.

У нашој земљи агрометеорологија је организована у оквиру хидрометеоролошке службе као посебна грана. Сходно организационој схеми хидрометеоролошке службе, у Републичком хидрометеоролошком заводу постоји агрометеоролошко одељење као посебна организациона јединица.

2

СУНЧЕВО ЗРАЧЕЊЕ, ЗЕМЉИНО ИЗРАЧИВАЊЕ И ПРОТИВЗРАЧЕЊЕ АТМОСФЕРЕ

2.1 Основни појмови и дефиниције

Зрачење је преношење енергије посредством електромагнетних таласа. Спектар електромагнетног зрачења се може, с обзиром на вредности таласних дужина, поделити на две области и то: ***краткоталасно зрачење*** са таласним дужинама мањим од 3 μm и ***дуготаласно зрачење*** са таласним дужинама већим од 3 μm. Краткоталасно зрачење укључује у себи три подобласти: ултраљубичасто зрачење (0,20 μm - 0,40 μm), видљиво зрачење или светлост (0,40 μm - 0,76 μm) и инфрацрвено зрачење (0,76 μm - 3,0 μm). Уобичајено је да се износ овако пренесене енергије описује преко интензитета зрачења. Интезитет зрачења представља количину енергије (J) која у јединици времена (1 s) падне на јединичну површину (1 m^2) нормално постављену на правац простирања зрачења, јединица интензитета зрачења је J m^{-2} s^{-1} ili W m^{-2}.

Сунце је главни извор енергије за Земљу. ***Директно Сунчево зрачење*** је електромагнетно зрачење, израчено од стране Сунца, које без расејавања (директно) доспева на Земљину површину. Услед великог растојања између Земље и Сунца директно Сунчево зрачење се може сматрати снопом паралелних зрака. Енергија овог зрачења које доспе на 1 m^2 површине, нормално постављене на правац простирања зрачења, током 1 s представља интензитет директног Сунчевог зрачења S. Вертикална компонента директног Сунчевог зрачења на хоризонталну површину S', израчунава се преко израза:

$$S' = S\sin\theta \tag{2.1}$$

где је са θ означена зенитна висина Сунца.

Соларна константа S_0, је интензитет директног Сунчевог зрачења на горњој граници атмосфере. Према мерењима која се наводе у раду од Меккракена (McCracken, 1985) вредност соларне константе износи 1368,31 W m^{-2} при међусобном растојању Земље и Сунца од $150 \cdot 10^9$ m.

Пошто се Земља окреће око Сунца по елиптичној путањи онда се њихово међусобно растојање мења у току године. Ова промена износи $\pm\ 2{,}5 \cdot 10^9$ m у току године. Сагласно томе мења се и износ соларне константе. На северној полулопти соларна константа зими има већу, а лети мању вредност при чему те разлике достижу вредност од 3,4 %.

Дифузно зрачење представља онај део Сунчевог зрачења који доспева на хоризонталну површину после расејавања у атмосфери и његовог одбијања од облачних честица, прашине, снежних кристала и других примеса. У састав дифузног зрачења улази, такође, и зрачење одбијено разним предметима који се налазе изнад региструјућег инструмента. Интензитет дифузног зрачења D, се изражава у истим јединицама као и интензитет директног Сунчевог зрачења.

Глобално зрачење је укупно Сунчево зрачење које доспева на хоризонталну површину, а његов интензитет G је једнак збиру интензитета вертикалне компоненте директног Сунчевог зрачења и дифузног зрачења

$$G = S' + D \tag{2.2}$$

Активан апсорпциони слој је слој у ком се практично, са изузетком рефлектованог зрачења, апсорбује целокупан износ зрачења. На пример, за дуготаласно зрачење активан апсорпциони слој су површински слој земљишта, снега и воде дебљине, реда величине, 1 mm. За краткоталасно зрачење то су: слој песка, до неколико милиметара, снег, до неколико центиметара, вода до неколико метара или десетина метара итд. Вегетациони покривач представља активан апсорпциони слој како за краткоталасно тако и за дуготаласно зрачење.

Фотосинтетски активно зрачење је део краткоталасног Сунчевог зрачења, у опсегу 0,38 μm - 0,71 μm које биљке користе у процесу фотосинтезе.

Рефлектовано зрачење је део глобалног зрачења који се одбија од активног апсорпционог слоја, а потом враћа у атмосферу.

t (^oC)	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
-9,0	276	276	275	275	274	274	274	273	273	272
-8,0	280	280	279	279	278	278	278	277	277	276
-7,0	284	284	284	283	283	282	282	282	281	281
-6,0	289	288	288	288	287	287	286	286	285	285
-5,0	293	293	292	292	291	291	291	290	290	289
-4,0	298	297	297	297	296	296	295	294	294	294
-3,0	302	302	301	301	300	300	299	299	298	298
-2,0	306	306	306	305	305	304	304	303	303	302
-1,0	311	311	310	310	309	309	308	308	307	307
-0,0	316	315	315	314	314	313	313	312	312	312
0,0	316	316	317	317	318	318	318	319	319	320
1,0	320	321	321	322	322	323	323	324	324	324
2,0	325	326	326	326	327	327	328	328	329	329
3,0	330	330	331	331	332	332	333	333	334	334
4,0	335	335	336	336	336	337	338	338	338	339
5,0	339	340	340	341	341	342	342	343	343	344
6,0	344	345	345	346	346	347	347	348	348	349
7,0	349	350	350	351	351	352	352	353	353	354
8,0	354	355	355	356	356	357	357	358	358	359
9,0	359	360	360	361	361	362	362	363	363	364
10,0	364	365	366	366	366	367	368	368	369	369
11,0	370	370	371	371	372	372	373	373	374	374
12,0	375	375	376	376	377	378	378	379	379	380
13,0	380	381	381	382	382	383	383	384	384	385
14,0	386	386	387	387	388	388	389	389	390	390
15,0	391	392	392	392	393	394	394	395	395	396
16,0	396	397	398	398	399	399	400	400	401	401
17,0	402	402	403	404	404	405	405	406	406	407
18,0	407	408	409	409	410	410	411	411	412	412
19,0	413	414	414	415	415	416	416	417	418	418
20,0	419	419	420	420	421	422	422	423	423	424

Табела 2.1 Интензитет зрачења апсолутно црног тела (W m^{-2}) при различитим температурама t (^oC)

Албедо A, је дефинисан као количник интензитета рефлектованог и глобалног зрачења, тј.

$$A = \frac{R}{G} \tag{2.3}$$

Апсолутно црно тело је тело које у потпуности апсорбује зрачење које долази до њега. Интензитет зрачења апсолутно црног тела E_A описује се Штефан - Болцмановим законом (Stefan - Boltzmann) који може да се напише у облику

$$E_A = \sigma T^4 \tag{2.4}$$

где је $\sigma = 5{,}676 \cdot 10^{-8}\ W\ m^{-2}\ K^{-4}$ Штефан-Болцманова константа, а T апсолутна температура ваздуха изражена у Келвинима (K). У табели 2.1 су дате вредности интензитета зрачења апсолутно црног тела за различите вредности температуре изражене у степенима Целзијусове скале (^oC).

Земљино израчивање је дуготаласно зрачење које емитује активан апсорпциони слој у правцу атмосфере. С обзиром да Земља зрачи као сиво тело, интензитет Земљиног израчивања B_Z, зависи само од температуре површине земљишта и његове емисивности.

У атмосфери се налазе различити састојци у гасовитом, течном и чврстом агрегатном стању. Ти састојци, по Штефан-Болцмановом закону, емитују у виду дуготаласног зрачења одређени износ енергије који је сразмеран четвртом степену њихове температуре. Део овог зрачења који је управљен ка Земљиној површини назива се ***противзрачење атмосфере***. Интензитет противзрачења атмосфере B_A, у највећој мери зависи од садржаја водене паре у њој. Наиме, повећан садржај водене паре доприноси и повећаном противзрачењу атмосфере.

Интензитет ефективног израчивања E_f, је разлика између интензитета Земљиног израчивања и противзрачења атмосфере

$$E_f = B_Z - B_A \tag{2.5}$$

Биланс зрачења B, је алгебарски збир интензитета краткоталасног и дуготаласног зрачења на површини земљишта

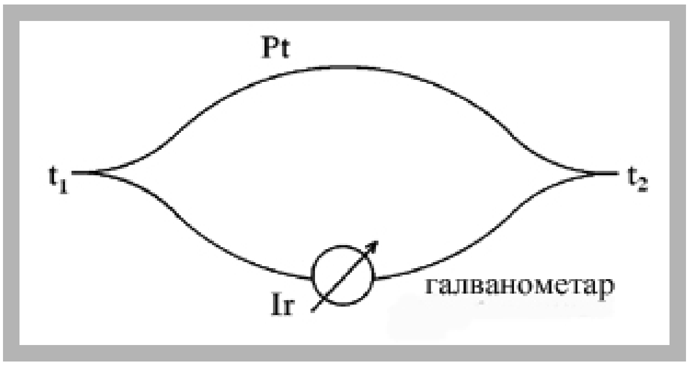
$$B = S + D - R + B_A - B_Z - r_A \tag{2.6}$$

где је са r_A означен интензитет оног дела противзрачења атмосфере који се одбија од површине земљишта. У једначини (2.6) за биланс зрачења, позитиван предзнак је стављен испред интензитета зрачења које је усмерено ка површини земљишта, а негативан испред интензитета зрачења које је усмерено ка атмосфери.

2.2 Мерење краткоталасног зрачења

Интензитет директног Сунчевог зрачења се мери инструментима ***пирхелиометрима*** док се интензитети дифузног, глобалног и рефлектованог зрачења мере ***пиранометрима***. При конструкцији инструмената за мерење интензитета зрачења користе се сви ефекти које оно изазива: топлотни, електрични, хемијски и физиолошки. Међутим, најчешће у употреби су инструменти који функционишу на принципу термоелемената.

Термоелемент је једноставан склоп у ком се врши трансформација топлотне у електричну енергију. Он се састоји од две жице израђене од различитих метала (сл. 2.1) које су спојене на крајевима. Ако се спојеви држе на различитим температурама (t_1 и t_2), тада се између њих јавља термоелектромоторна сила.



Слика 2.1 Схема термоелемента

Ова термоелектромоторна сила је врло мала и износи само неколико десетина микроволти по једном степену разлике температуре спојева. Из тог разлога термоелемент се не користи као генератор једносмерне струје него за мерење температуре. Код неких спојева, као што су, на пример, жице од платине и иридијума, постоји приближно линеарна веза између термоелектромоторне силе ε, и разлике

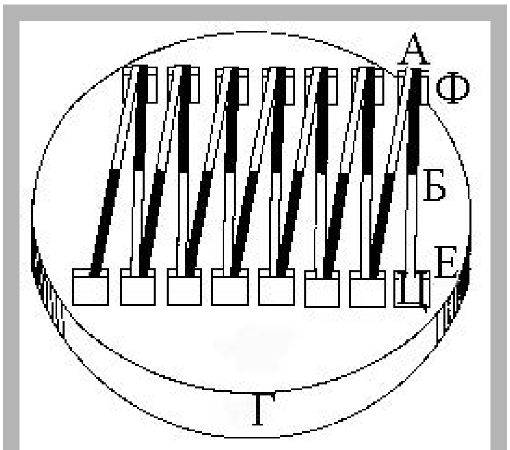
температуре спојева у једном веома широком интервалу температура, тако да је могуће написати једначину

$$\varepsilon = k(t_2 - t_1) \tag{2.7}$$

где је k константа чија је вредност одређена избором комбинације метала. Бројна вредност ове константе је једнака термоелектромоторној сили која се јавља између спојева када је разлика њихових температура 1 $^{\circ}$C.

При реализацији пиранометара који функционишу на овом принципу, пријемник се састоји из више термоелемената који сачињавају термобатерију. Један спој термоелемената у термобатерији загрева се под утицајем зрачења (активни) док се други спој одржава на константној температури (неактивни). У зависности од начина конструисања термобатерије, разликује се неколико типова пиранометра. Према критеријумима Светске метеоролошке организације сви постојећи пиранометри су, у односу на еталон, класификовани у инструменте прве, друге и треће класе.

Пиранометар Мол-Горчинског (Moll-Gorczynski). Схематски приказ термобатерије овог пиранометра дат је на слици 2.2 .

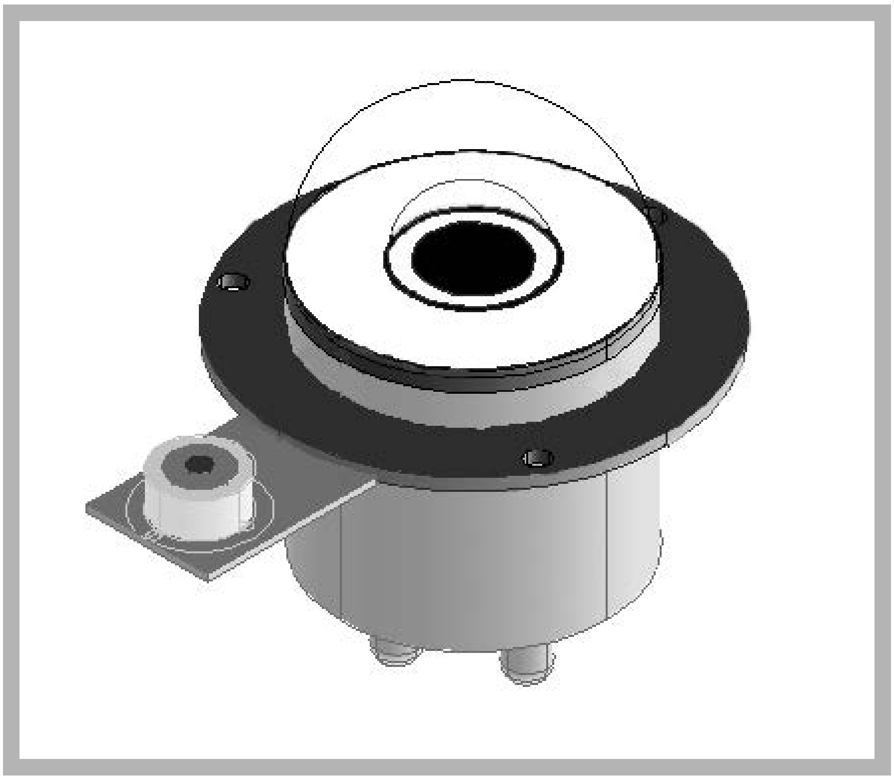


Слика 2.2 Молова термобатерија: Б - активан спој од металне траке; А и Ц - неактивни спојеви од металних трака; Е и Ф - издигнути бакарни прикључци; Г - масивна бакарна плоча; Прецртано из Кулсона (Coulson, 1975).

Термоспојеви су направљени од веома танких (5 μm) зацрњених трака мангана и константана спојених у тачки Б и залемљених калајем, у тачкама А и Ц, за бакарне

прикључке Е и Ф. Издигнути прикључци су залепљени за масивну месингану плочу Г. Танка пресвлака, између прикључака и плоче, обезбеђује електричну изолацију без нарушавања термичког контакта. Активни спојеви су поређани дуж месингане плоче док се неактивни спојеви налазе на врху прикључака. Мали топлотни капацитет трака, њихова ефикасна топлотна проводљивост и велики топлотни капацитет месингане плоче и бакарних спојева обезбеђују приближно константну температуру. То надаље значи да је непотребно, на било који начин, обезбеђивати заштиту пасивних спојева од Сунчевог зрачења.

Термобатерије су смештене испод две стаклене куполе од којих је већа пречника 50 mm а мања пречника 30 mm. Намена ових купола је вишеструка: а) штите пријемну површину од механичких оштећења, б) спречавају конвективну размену топлоте и в) имају улогу спектралног филтера (сл. 2.3). Хоризонталан положај пријемника обезбеђује се преко либеле смештене уз пријемник. Испод пријемника налази се посуда са хигроскопном материјом која одстрањује водену пару из простора испод купола.

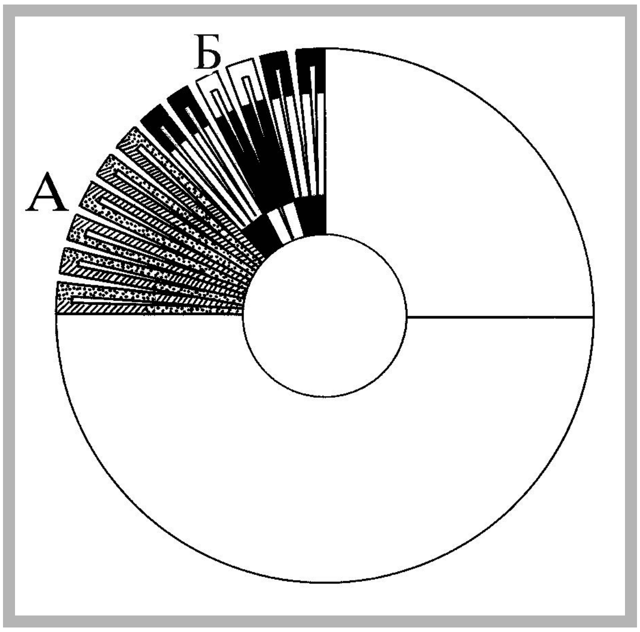


Слика 2.3 Пиранометар Мол-Горчинског

За мерење индуковане електромоторне силе уз овај пријемник користи се или

миливолтметар или галванограф. Да би биле добијене вредности интензитета зрачења, на основу очитаних вредности електромоторне силе, потребно је познавати и инструменталну констатнту. Овим пиранометром се мере интензитети: 1) глобалног зрачења; 2) дифузног - стављањем посебног металног полупрстена изнад пријемника, и 3) рефлектованог зрачења - окретањем пријемника према активном апсорпционом слоју.

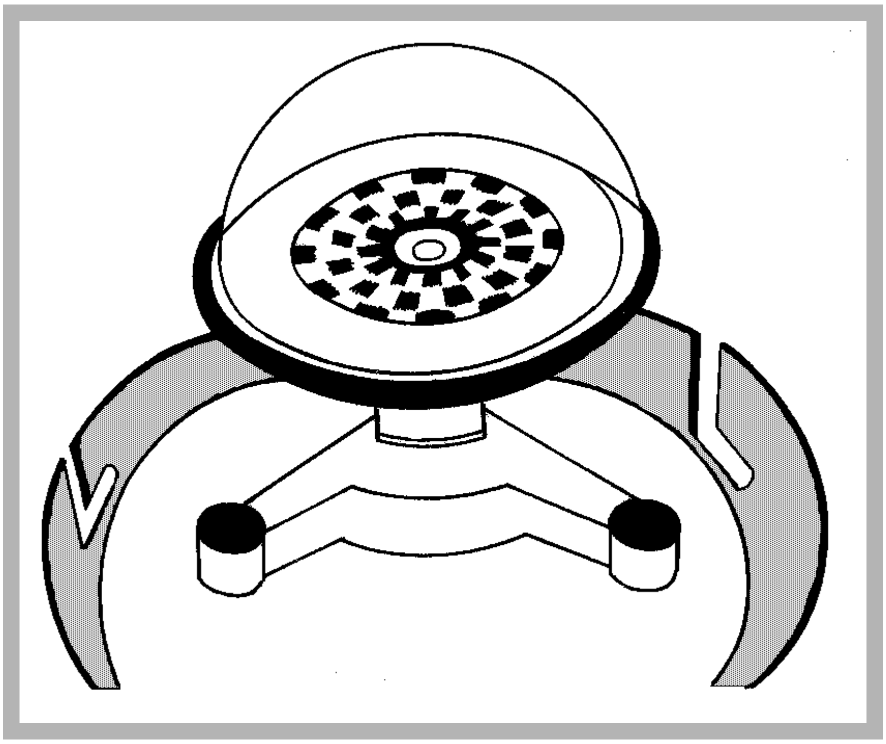
Пиранометар Јанишевског (Janiševskij). Употребљава се за мерење интензитета дифузног, глобалног и зрачења рефлектованог од површине земљишта. Пријемник се састоји од црних и белих квадратних поља распоређених у виду шаховске табле или од црних и белих сегмената који су радијално распоређени (сл. 2.4). Термоелементи су направљени од уских трака мангана и константана. Активни спојеви су пресвучени чађу,



Слика 2.4 Шематски приказ црних и белих сегмената који сачињавају термоспојеве код пиранометра Јанишевског: А - необојени део; Б - обојени део; Прецртано из Кулсона (Coulson, 1975).

док су неактивни спојеви пресвучени магнезијумом. Пријемни део је заштићен стакленом куполом која пропушта зрачење у опсегу таласних дужина од 0,3 μm до 100 μm (сл. 2.5).

Описани пиранометри се употребљавају за стандардна мерења на метеоролошким станицама. Међутим, ови инструменти се користе и приликом градијентних и других микрометеоролошких мерења унутар и изнад биљног склопа.



Слика 2.5 Пиранометар Јанишевског

Дневна сума глобалног зрачења G_d. Често је од интереса да се познаје укупна количина енергије која путем глобалног зарчења доспе на активну апсорпциону површину у току једног дана. Ова вредност се добија интеграцијом криве која представља дневни ход интензитета глобалног зрачења. Поступак интеграције се обично обавља применом трапезне формуле

$$G_d = \frac{G_0 + G_N}{2} h + h \sum_{i=1}^{N-1} G_i \tag{2.8}$$

где је: h - дужина временског интервала између два мерења, G_0 и G_N - интензитети глобалног зрачења измерени у првом и последњем мерењу, а N - укупан број мерења.

Задатак 2.1

На огледној парцели Научног института за ратарство и повртарство на Римским Шанчевима, дана 24. јуна 1982. године употребом пиранометра Мол-Горчински измерене су следеће часовне вредности електромоторне силе приликом мерења глобалног (G_ε) и рефлектованог (R_ε) зрачења.

час (СЕВ)	0500	0600	0700	0800	0900	1000	1100	1200
G_ε (mV)	1,3	2,8	4,6	6,4	8,1	9,2	9,5	9,2
R_ε (mV)	0,2	0,4	0,6	0,9	1,2	1,4	1,5	1,5
час (СЕВ)	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
G_ε (mV)	8,6	8,0	6,6	4,9	3,0	0,8	0,2	0,0
R_ε (mV)	1,4	1,2	1,0	0,7	0,4	0,0	0,0	0,0

Израчунати: а) интензитет глобалног и рефлектованог зрачења (W m^{-2}) за сваки час узимајући да су инструменталне константе солариметарских пријемника за глобално $k_G = 69,65\ m^{-2}\ mV^{-1}$ и рефлектовано зрачење $k_R = 72,62\ W\ m^{-2}\ mV^{-1}$; б) албедо A за сваки час; в) дневну суму глобалног зрачења G_d (J m^{-2}) и г) графички представити дневни ход интензитета глобалног и рефлектованог зрачења.

Решење:

а) Поступак за израчунавање интензитета глобалног и рефлектованог зрачења биће приказан на једном примеру уз узимање одговарајућих вредности за 1100 часова по СЕВ-у. Узимајући вредности инструменталних константи налази се да је:

интензитет глобалног зрачења

$$G = 9.5\ \mathrm{mV} \cdot 60.65\ \mathrm{W\,m^{-2}} = 661.7\ \mathrm{W\,m^{-2}}$$

и интензитет рефлектованог зрачења

$$R = 1.5\ \mathrm{mV} \cdot 72.62\ \mathrm{W\,m^{-2}} = 108.9\ \mathrm{W\,m^{-2}}$$

час (СЕВ)	0500	0600	0700	0800	0900	1000	1100	1200
G (W m^{-2})	90,5	195,0	320,4	445,8	546,2	640,8	661,7	640,8
R (W m^{-2})	14,5	29,0	43,6	65,4	87,1	101,7	108,9	108,9
A	0,16	0,15	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17
час (СЕВ)	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
G (W m^{-2})	599,0	557,2	459,7	343,1	209,0	55,7	13,9	0,0
R (W m^{-2})	101,7	87,1	72,6	50,8	29,0	0,0	0,0	0,0
A	0,17	0,16	0,16	0,15	0,14	0,0	0,0	0,0

Табела 2.2 Интензитети глобалног G и рефлектованог R зрачења и албедо A 24. јуна 1982. године на Римским Шанчевима

б) Користећи дефиницију (2.4) добија се да је албедо

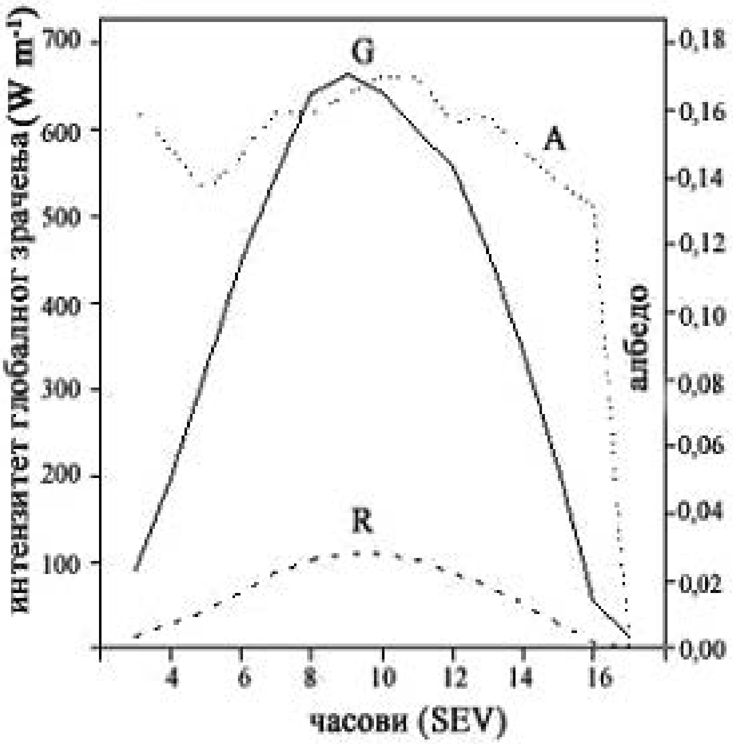
$$A = \frac{R}{G} = \frac{108{,}9\ \mathrm{W\,m^{-2}}}{661{,}7\ \mathrm{W\,m^{-2}}} = 0{,}16$$

Интензитет глобалног и рефлектованог зрачења као и албедо, за остале часове,

приказани су у табели 2.2.

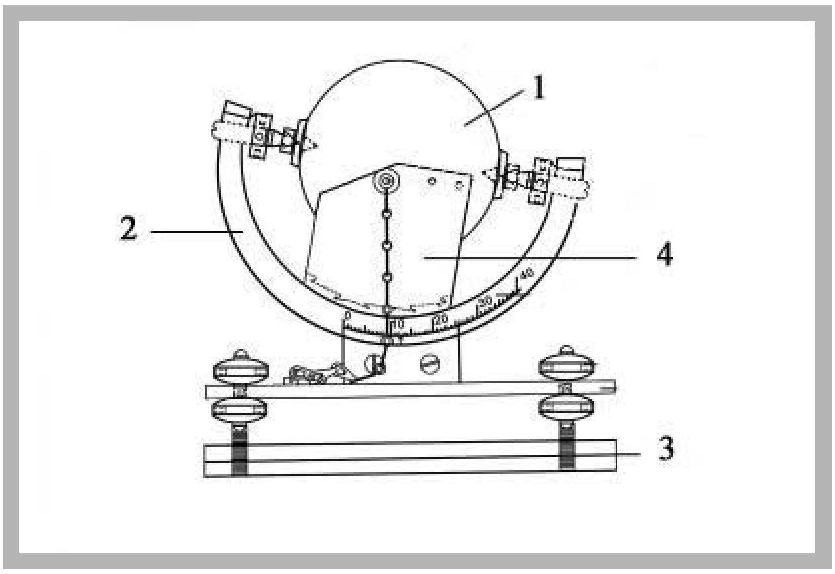
в) Дневни ходови интензитета глобалног и рефлектованог зрачења и албеда приказани су на слици 2.6.

г) У случају који се разматра, вредности величина у изразу (2.8) су: h = 3600 s (временски интервал од 1 часа), N = 16, G_0 је интензитет глобалног зрачења у 0500 часова по СЕВ-у и G_{16} је интензитет глобалног зрачења у 2000 часова по СЕВ-у. Заменом одговарајућих вредности интензитета глобалног зрачења у израз (2.8) налази се да је $G_d = 2070{,}6 \cdot 10^4\ J m^{-2}$ или $G_d = 2070{,}6\ J cm^{-2}$



Слика 2.6 Дневни ходови интензитета глобалног G и рефлектованог зрачења R и вредности албеда A 24. јуна 1982. године на Римским Шанчевима

Хелиограф Кембел-Стокса (Campbell - Stokes). Овај инструмент се употребљава за мерење трајања директног Сунчевог зрачења или, како је уобичајено да се каже, трајања сунчевог сјаја (осунчавања). Пријемни део овог инструмента (сл. 2.7) је стаклена кугла (1) , која игра улогу сабирног сочива и која је металним полупрстеном причвршћена за постоље (3). Када се кугла изложи Сунцу, трака која се налази у њеној жижи нагорева при чему остаје траг. Иначе, траке се постављају унутар металне шкољке (4) при чему у зависности од доба године, оне имају различиту дужину (сл. 2.8). На основу трагова чија се дужина процењује, до на десет минута, очитавањем се добија трајање директног Сунчевог зрачења у току дана.



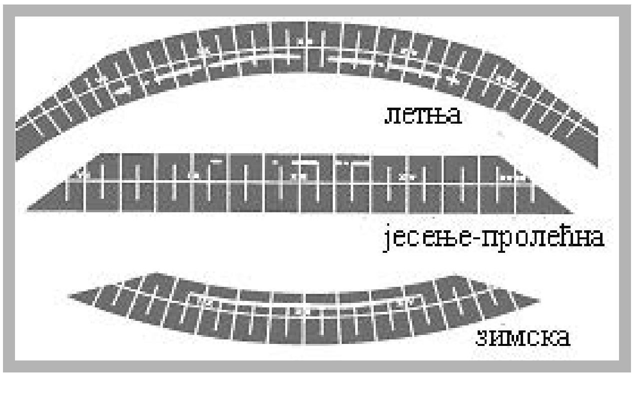
Слика 2.7 Хелиограф Кемпбел - Стокса

Задатак 2.2

На слици 2.8 приказане су хелиографске траке скинуте 6. јануара, 5. марта и 8. јула 1959. године са хелиографа Кембел - Стокса постављеног на метеоролошкој станици на Римским Шанчевима. Потребно је да се одреди: а) дневна сума трајања Сунчевог сјаја (S_d) и б) релативно трајање Сунчевог сјаја S_r.

Решење:

а) Очитавање хелиографске траке као и израчунавање релативног трајања Сунчевог сјаја биће приказано на примеру за траку скинуту 5. марта 1959. године.



Слика 2.8 Хелиографске траке

Очитавање траке се обавља тако што се дужине трагова, у току једночасовног интервала, сабирају идући од преподневних ка поподневним часовима. Том приликом уколико траг иде од почетка па до завршетка часовног интервала (назначени су дужим линијама) у одговарајућу табелу уписује се вредност која одговара једном часу или кратко 1. Траг чија се дужина простире од почетка па до половине часовног интервала уписује се као 0,5. Коначно уколико су трагови испрекидани, што је чест случај, онда

се њихова дужина процењује до на 0,1 да би се потом њихова часовна сума уписала у одговарајућу колону табеле. На пример,

час	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 - 10	10 - 11	11 - 12	12 - 13	13 - 14	14 - 15
s (час)	0	0	0	0,3	0	0,3	0,5	0,8	0

Табела 2.2 Часовне суме (s) и дневна сума (S_d) трајања Сучевог сјаја 5. марта 1959. год.

Користећи изложени поступак налази се да је дневна сума трајања Сунчевог сјаја за 6. јануар И 6. јул 7,0 и 8,2 часова, редом.

б) У метеоролошкој пракси често се користи релативно трајање Сунчевог сјаја које се дефинише као

$$S_r = \frac{S_d}{S_p} 100\ \% \tag{2.9}$$

где је са S_d означена стварна а са S_p потенцијална дневна сума трајања Сунчевог сјаја. У разматраном случају релативно трајање Сунчевог сјаја износи

$$S_r = \frac{1,8}{11,3} = 15,9\ \%$$

при чему је вредност потенцијалне дневне суме трајања Сунчевог сјаја S_p узета из табеле 2.3. Релативно трајање Сунчевог сјаја за 6. јануар и 6. јул износи 79,5% и 52,6%, редом.

2.3 Мерење дуготаласног зрачења

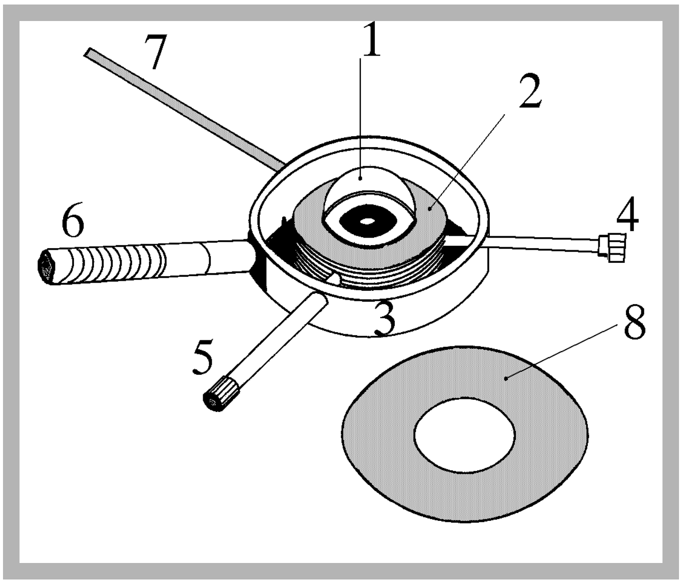
Под дуготаласним зрачењем подразумева се електромагнетно зрачење у опсегу таласних дужина од 3 μm па до неколико десетина микрона. Група инструмената која мери ову врсту зрачења, тј. интензитет долазног и одлазног зрачења и њихову разлику, називају се ***радиометри***. При конструкцији ових инструмената, као и код пиранометара, најчешће се користи термоелектрични ефекат. Међутим, собзиром да на температурама на којима се примењује, инструмент веома интензивно зрачи дуготаласно зрачење, потребно је на неки начин раздвојити зрачење које се мери од онога које потиче од самог инструмента. У зависности од врсте решења радиометри се деле на нет пиррадиометре и пиррадиометре.

Дани	Месеци											
	јан.	феб.	мар.	апр.	мај	јун	јул	авг.	сеп.	окт.	нов.	дец.
1.	8,7	9,7	11,1	12,7	14,3	15,5	15,7	14,8	13,3	11,8	10,1	9,0
2.	8,7	9,7	11,1	12,8	14,3	15,5	15,7	14,8	13,3	11,7	10,1	8,9
3.	8,8	9,8	11,2	12,8	14,4	15,5	15,7	14,7	13,2	11,7	10,0	8,9
4.	8,8	9,8	11,2	12,9	14,4	15,5	15,7	14,7	13,2	11,6	10,0	8,9
5.	8,8	9,9	11,3	13,0	14,5	15,6	15,6	14,6	13,1	11,6	9,9	8,9
6.	8,8	9,9	11,3	13,0	14,5	15,6	15,6	14,6	13,1	11,5	9,9	8,8
7.	8,8	10,0	11,4	13,1	14,6	15,6	15,6	14,5	13.0	11.5	9,9	8,8
8.	8,9	10,0	11,4	13,1	14,6	15,6	15,6	14,5	13,0	11,4	9,8	8,8
9.	8,9	10,1	11,5	13,2	14,7	15,6	15,5	14,4	12,9	11,4	9,8	8,8
10.	8,9	10,1	11,5	13,2	14,7	15,7	15,5	14,4	12,8	11,3	9,7	8,8
11.	8,9	10,2	11,6	13,3	14,7	15,7	15,5	14,4	12,8	11,2	9,7	8,7
12.	8,9	10,2	11,6	13,3	14,8	15,7	15,5	14,3	12,7	11,2	9,6	8,7
13.	9,0	10,3	11,7	13,4	14,8	15,7	15,4	14,3	12,7	11,1	9,6	8,7
14.	9,0	10,3	11,7	13,4	14,8	15,7	15,4	14,2	12,6	11,1	9,6	8,7
15.	9,0	10,4	11,8	13,5	14,9	15,7	15,4	14,2	12,6	11,0	9,5	8,7
16.	9,1	10,4	11,8	13,6	14,9	15,7	15,4	14,1	12,5	11,0	9,5	8,7
17.	9,1	10,5	11,9	13,6	15,0	15,7	15,4	14,1	12,5	10,9	9,4	8,7
18.	9,1	10,5	12,0	13,7	15,0	15,7	15,3	14,0	12,4	10,8	9,4	8,7
19.	9,2	10,6	12,0	13,7	15,1	15,7	15,3	14,0	12,4	10,8	9,4	8,7
20.	9,2	10,6	12,1	13,8	15,1	15,7	15,2	13,9	12,3	10,7	9,3	8,7
21.	9,2	10,7	12,2	13,8	15,1	15,7	15,2	13,9	12,3	10,7	9,3	8,7
22.	9,3	10,7	12,2	13,9	15,2	15,7	15,2	13,8	12,2	10,6	9,3	8,7
23.	9,3	10,8	12,2	13,9	15,2	15,7	15,2	13,8	12,2	10,6	9,2	8,7
24.	9,3	10,8	12,3	14,0	15,2	15,7	15,1	13,7	12,1	10,5	9,2	8,7
25.	9,4	10,9	12,4	14,0	15,3	15,7	15,1	13,7	12,0	10,5	9,1	8,7
26.	9,4	10,9	12,4	14,0	15,3	15,7	15,1	13,6	12,0	10,4	9,1	8,7
27.	9,4	11,0	12,5	14,1	15,3	15,7	15,0	13,6	12,0	10,4	9,1	8,7
28.	9,5	11,0	12,5	14,1	15,3	15,7	15,0	13,5	11,9	10,3	9,0	8,7
29.	9,5	11,0	12,6	14,2	15,4	15,7	14,9	13,5	11,9	10,3	9,0	8,7
30.	9,6		12,6	14,2	15,4	15,7	14,9	13,4	11,8	10,2	9,0	8,7
31.	9,7		12,7		15,4		14,9	13,4		10,2		8,7

Табела 2.3 Потенцијална дневна сума трајања Сунчевог сјаја (часови) у Новом Саду

Нет пиррадиометри мере разлику интензитета дуготаласног зрачења доспелог на доњу и горњу пријемну површину инструмента. Прилоком конструкције ***пиррадиометара*** се доња купола замењује нагарављеном куполом која емитује приближно као апсолутно црно тело при температури на којој се налази инструмент. Мерећи разлику између интензитета зрачења које доспе на горњу и доњу пријемну површину и познавајући интензитет зрачења које је доспело на доњу пријемну површину могуће је израчунати и интензитет дуготаласног зрачења које је доспело на горњу пријемну површину [Ангстромов компензациони пиргеометар (Angström)].

Билансметар Шулцеа (Schulze). Нет пиррадиометри се деле на две подгрупе и то према томе да ли је пријемна површина заштићена куполом или је, пак, непокривена. У прву групу нет пиррадиометара се убраја и билансметар Шулцеа. Овим инструментом могуће је да се непрекидно региструје разлика интензитета зрачења, које долази одозго и одоздо на хоризонталну површину, у опсегу таласних дужина од 0,3 μm до 80 μm. Под укупним зрачењем "одозго" подразумева се директно Сунчево зрачење, дифузно зрачење и противзрачење атмосфере, а под зрачењем "одоздо" рефлектовано зрачење, Земљино израчивње и противзрачење атмосфере одбијено од површине земљишта.



Слика 2.9 Билансметар Шулцеа

Пријемне површине (термобатерије) овог пиррадиометра (сл. 2.9) покривене су куполом од полиетилена (1) која пропушта дуготаласно и краткоталасно зрачење и има укупан коефицијент транспаренције 85% за зрачење таласних дужина од 0,3 μm до

100 μm. Термобатерије су смештене у алуминијумском кућишту билансметра (2) које је причвршћено за прстен носач (3). Од прстена носача изведене су цеви: за мрежасти уложак са средством за сушење (4), темоелектрични темепературни елемент (5) и за вентилацију (6) као и метални држач (7). Кућиште је заштићено металним тањиром (8).

Принцип рада овог билансметра састоји се у следећем. Зрачење које доспе на пријемне површине изазива појаву термострује која је пропорционална интензитету зрачења умањеном за зрачење које емитује инструмент. Да би се израчунало зрачење инструмента потребно је да се зна температура инструмента. Мерење температуре у унутрашности билансметра помоћу термоспојева врши се на тај начин што се један термоспој (активан) поставља у унутрашњост инструмента а други термоспој (неактиван) у земљу на дубину где је температура у дужем временском периоду константна (на 1 m дубине). Како су горња и доња пријемна површина (термобатерије) окренуте у супротним смеровима то бележење разлике у интензитету зрачења, између пријемних површина, означава чист биланс зрачења. Непожељан ефекат термичке конвекције елиминише се, мада не у потпуности, помоћу вентилатора који, константном брзином, убацује струју ваздуха на пријемне површине. Према потреби ово зрачење може да се региструје или преко вишеканалног региструјућег галванометра региструју се четири криве и то: интензитет долазећег и одлазећег зрачења, њихова разлика и температура у унутрашњости инструмента, или, пак, преко рачунара.

2.4 Мерење осветљености

Светлост је електромагнетно зрачење са таласним дужинама од 0,4 μm до 0,76 μm. Област физике која се бави енергетским аспектима светлосних појава назива се ***фотометрија***. С обзиром да се фотосинтеза, као физиолошки процес, одвија под дејством електромагнетног зрачења из опсега таласних дужина који се готово поклапа са светлосним опсегом (0,38 μm до 0,71 μm), мерење осветљености је од посебног значаја у пољопривредној пракси.

Јачина светлости I, је основна фотометријска величина која говори о интензитету којим светлосни извор емитује светлосну енергију. Јединица јачине

светлости је кандела (cd) и представља једну од седам основних физичких јединица. По дефиницији, кандела је јачина светлости коју у датом правцу емитује монохроматски извор светлости фреквенције 540×10^{12} Hz и који у датом правцу емитује 1/683 W $srad^{-1}$ светлосне енергије.

Светлосни флукс Φ , је једнак енергији светлости која у јединици времена прође кроз јединични просторни угао. Јединица за мерење светлосног флукса је лумен (lm).

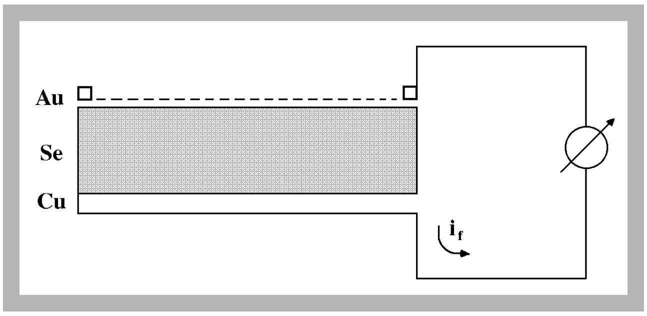
Осветљеност A, је бројно једнака укупном флуксу Φ који пада на јединицу површине S осветљаваног тела

$$A = \frac{\Phi}{S} \tag{2.10}$$

Јединица за осветљеност је лукс (lx).

Луксметар је инструмент који се користи за мерење осветљености. Схематски приказ функционисања овог инструмента дат је на слици 2.10.

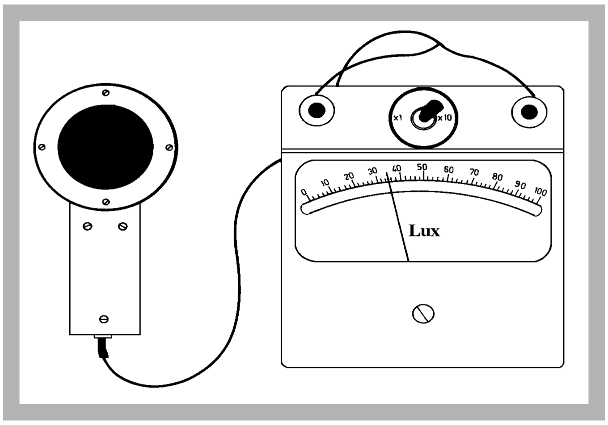
Пријемни део луксметра је један фотоелемент који представља генератор једносмерне струје у којем се врши трансформација светлосне у електричну енергију. Фотоелемент је комбинација два метала и полупроводника. Као полупроводник користи се селен или оксид бакра. Схема фотоелемента је приказана на слици 2.10.



Слика 2.10 Схематски приказ функционисања луксметра

Доња плочица је од бакра на коју је причвршћена полупроводничка плочица од селена. Са горње стране се преко селена напари врло танка скрамица од злата или платине. Када се скрамица осветли долази до појаве фотоелектричног ефекта и ствара се напон између ње и бакарне плочице. Механизам претварања светлосне у електричну енергију, односно механизам појаве електричне струје је веома сложен. Укратко би се

могао свести на следеће. Светлост пролази кроз горњу скрамицу и пада на горњу површину полупроводника. Енергија светлости троши се на избацивање електрона из полупроводника, који се нагомилавају испод скрамице те се она наелектрише негативно. Као последица тога бакарна плочица постаје позитивна. Ако се горња и доња површина повежу у електрично коло јавиће се фотоелктрична струја.



Слика 2.11 Луксметар

Јачина фотострује i_f која се генерише овим механизмом је управо пропорционална осветљености A

$$i_f = k_f \, A \qquad (2.10)$$

где је k_f коефицијент осетљивости фотоелемента.

На слици 2.10 приказан је тзв. Лангеов (Lange) луксметар који има широку примену, посебно у пољопривредној пракси.

2.5 Контролна питања и задаци

1. Које врсте краткоталасног зрачења долазе од Сунца на Земљину површину?
2. Шта је соларна константа?
3. Како је подељена област краткоталасног зрачења? Који опсег таласних дужина обухвата дуготаласно зрачење?
4. Које врсте дуготаласних зрачења су присутне у атмосфери?
5. Дефинисати биланс зрачења.
6. Шта су пиранометри, а шта пирхелиометри?
7. На ком принципу функционише пиранометар Мол-Горчински?
8. На ком принципу функционише пиранометар Јанишевског?

9. Шта се мери хелиографом Кемпбел-Стокса?
10. Како се дефинише релативно трајање Сунчевог сјаја?
11. Шта се мери билансметром Шулцеа?
12. Дефинисати следеће фотометријске величине: јачина светлости, светлосни флукс и осветљеност.

Задатак 2.3

На огледној парцели Научног института за ратарство и повртарство на Римским Шанчевима, током вегетационог периода соје 1982., 1983. и 1984. године пиранометром Мол-Горчински измерене су следеће часовне вредности електромоторне силе приликом мерења глобалног (G_ε) и рефлектованог (R_ε) зрачења (табеле 2.4 и 2.5). Израчунати: а) интензитет глобалног и рефлектованог зрачења (W m^{-2}) за сваки час узимајући да су инструменталне константе солариметарских пријемника за глобално k_G = 69,65 W m^{-2} mV^{-1} и рефлектовано зрачење k_R = 72,62 W m^{-2} mV^{-1}; б) албедо а за сваки час; в) дневну суму глобалног зрачења G_d (J m^{-2}) и г) графички представити дневни ход интензитета глобалног и рефлектованог зрачења.

дани	часови (СЕВ)														
	0500	0600	0700	0800	0900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900
06. јул	1,4	3,0	5,2	6,7	8,0	9,3	9,7	9,9	6,8	8,0	3,6	5,2	1,3	0,8	0,0
21. јул	0,8	2,0	3,8	5,8	7,2	8,2	8,8	8,0	7,8	7,6	6,5	4,6	2,9	1,0	0,0
04. авг.	0,2	0,3	2,8	3,8	3,6	5,7	8,8	7,9	8,1	6,0	4,8	4,6	2,4	0,4	0,0
24. авг.	0,0	1,4	3,4	5,8	7,4	7,5	8,8	9,0	3,6	2,9	2,6	1,2	1,3	0,2	0,0
22. јун	0,7	2,9	3,4	6,5	4,5	9,5	9,7	3,1	4,0	0,9	1,2	2,0	0,6	0,2	0,0
01. јул	1,0	2,8	3,8	6,2	7,6	6,9	3,5	3,6	8,4	8,4	6,2	4,7	1,9	1,2	0,4
12. јул	0,7	2,4	4,5	6,5	8,2	8,6	9,8	9,7	5,9	7,8	1,7	1,6	1,6	1,8	0,2
20. јул	0,8	2,4	3,9	5,5	7,1	7,3	8,7	8,5	7,4	7,2	6,3	4,0	3,4	0,5	0,0
27. јул	1,1	2,5	5,1	6,1	7,8	8,8	8,9	8,4	8,0	6,8	5,8	3,9	2,4	1,0	0,0
03. авг.	0,6	1,9	3,9	5,2	7,0	7,5	8,0	8,0	7,4	2,4	0,3	1,2	0,9	0,3	0,0
16. авг.	1,0	1,9	4,4	6,2	8,1	8,2	8,2	8,5	8,4	7,8	6,2	4,2	2,2	0,6	0,0
23. авг.	0,3	0,9	2,8	3,2	6,3	7,1	7,6	7,6	7,3	6,5	1,9	2,3	1,0	0,3	0,0
08. јул	0,9	1,6	3,6	6,6	7,1	5,3	9,2	9,8	8,6	8,5	7,0	4,4	2,4	1,8	0,2
14. јул	0,8	1,9	2,4	5,3	7,6	7,9	8,4	8,6	8,2	7,4	6,0	5,0	3,8	1,2	0,2
17. јул	2,3	3,5	5,3	6,9	8,2	8,5	9,0	8,6	7,8	6,6	5,2	3,2	1,4	0,3	0,0
22. јул	0,4	2,1	3,4	5,4	7,0	7,9	8,6	9,1	8,6	7,8	6,6	5,0	3,0	0,3	0,0
28. јул	1,0	1,4	1,9	0,4	1,7	2,0	2,0	2,1	5,4	3,2	3,1	2,6	1,2	0,5	0,1
07. авг.	0,4	1,6	3,0	4,8	6,4	7,5	8,3	8,6	8,3	7,3	6,0	4,4	2,6	1,5	0,6
11. авг.	0,4	1,8	2,9	4,9	6,6	4,3	8,3	7,2	8,3	7,2	7,6	4,0	1,9	1,2	0,2
14. авг.	0,1	0,9	2,3	4,8	5,4	7,6	7,8	9,0	7,5	6,9	5,2	2,1	1,8	1,0	0,2
19. авг.	0,6	1,4	3,2	5,0	6,6	7,6	8,4	7,1	8,0	7,1	5,5	4,0	2,4	0,8	0,0
25. авг.	0,2	0,9	1,8	5,2	3,2	7,2	8,8	8,4	8,4	2,0	4,0	1,1	2,5	0,1	0,0
28. авг.	0,0	0,4	1,4	0,7	0,6	0,6	0,5	0,3	0,5	3,3	6,4	3,8	1,8	0,3	0,0
02. сеп.	0,0	0,1	0,2	0,8	1,0	1,1	2,3	2,6	3,0	2,9	3,0	1,4	0,3	0,1	0,0
08. сеп.	0,0	0,5	1,0	3,3	5,0	6,0	6,8	7,0	6,5	5,6	3,3	2,4	1,0	0,0	0,0

Табела 2.4 Вредности термоелектромоторне силе измерене пиранометром Мол-Горчински приликом одређивања глобалног зрачења $G_ε$ (mV) на Римским Шанчевима током вегетационог периода соје 1982., 1983. и 1984. године (Михаиловић и др.,1985)

Дани	часови (СЕВ)														
	0500	0600	0700	0800	0900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900
06. јул	0,3	0,4	0,6	0,9	0	1,4	1,3	1,4	1,0	1,2	0,5	0,8	0,2	0,1	0,0
21. јул	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,3	1,4	1,4	1,4	1,2	1,0	0,7	0,5	0,2	0,0
04. авг.	0,1	0,1	0,3	0,4	0,5	0,7	1,4	1,3	1,3	0,9	0,8	0,7	0,6	0,0	0,0
24. авг.	0,2	1,2	0,8	1,0	1,2	1,3	1,3	0,6	0,4	0,3	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
22. јун	0,1	0,4	0,4	0,9	0,6	1,4	1,3	0,4	0,5	0,1	0,2	0,3	0,1	0,0	0,0
01. јул	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,7	0,3	0,4	1,0	1,0	0,8	0,6	0,2	0,2	0,0
12. јул	0,1	0,3	0,4	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,7	1,0	0,2	0,2	0,2	0,3	0,0
20. јул	0,2	0,4	0,6	0,8	1,1	1,1	1,4	1,4	1,4	0,9	0,3	0,5	0,1	0,1	0,0
27. јул	0,3	0,5	0,8	1,0	1,2	1,3	1,5	1,4	1,2	1,0	0,8	0,5	0,3	0,1	0,0
03. авг.	0,1	0,4	0,8	1,0	1,3	1,3	1,4	1,4	1,3	0,4	0,1	0,3	0,2	0,1	0,0
16. авг.	0,2	0,4	0,7	0,9	1,2	1,2	1,4	1,4	1,3	1,2	0,9	0,6	0,4	0,1	0,0
23. авг.	0,0	0,2	0,5	0,7	0,9	1,0	1,2	1,2	1,1	1,0	0,3	0,4	0,2	0,0	0,0
08. јул	0,2	0,3	0,7	1,2	1,3	0,9	1,7	1,9	1,8	1,5	1,2	0,8	0,3	0,3	0,0
14. јул	0,2	0,4	0,4	1,0	1,5	1,5	1,6	1,5	1,4	1,4	1,2	1,0	0,8	0,2	0,0
17. јул	0,5	0,7	1,0	1,2	1,5	1,5	1,6	1,5	1,4	1,2	0,9	0,6	0,3	0,0	0,0
22. јул	0,1	0,4	0,6	0,9	1,2	1,4	1,5	1,5	1,5	1,4	1,1	0,8	0,6	0,3	0,0
28. јул	0,2	0,3	0,3	0,1	0,3	0,3	0,2	0,4	1,0	0,6	0,6	0,5	0,2	0,1	0,0
07. авг.	0,1	0,3	0,6	0,9	1,3	1,3	1,5	1,5	1,4	1,3	1,1	0,8	0,4	0,3	0,1
11. авг.	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,3	0,7	0,5	0,8	0,7	0,6	0,4	0,2	0,1	0,0
14. авг.	0,0	0,1	0,3	0,7	0,8	1,2	1,2	1,5	1,4	1,2	0,9	0,3	0,5	0,2	0,0
19. авг.	0,2	0,2	0,5	0,8	1,0	1,2	1,3	1,2	1,3	1,1	0,9	0,7	0,4	0,0	0,0
25. авг.	0,0	0,2	0,2	0,6	0,4	0,9	1,3	1,3	1,4	0,3	0,8	0,2	0,5	0,0	0,0
28. авг.	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,8	0,5	0,3	0,4	0,0
02. сеп.	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
08. сеп.	0,0	0,1	0,1	0,3	0,5	0,6	0,7	0,8	0,7	0,6	0,4	0,3	0,1	0,0	0,0

Табела 2.5 Вредности термоелектромоторне силе измерене пиранометром Мол-Горчински приликом одређивања рефлектованог зрачења R_ε (mV) на Римским Шанчевима током вегетационог периода соје 1982., 1983. и 1984. године (Михаиловић и др.,1985)

3

ТЕМПЕРАТУРА ВАЗДУХА, ЗЕМЉИШТА И ВОДЕ

3.1 Мерење температуре

Температура представља једну од основних физичких величина којом се карактерише топлотно стање неког система. При промени температуре тела мењају се и његова механичка, електрична, оптичка и друга физичка својства (димензије, електрична проводност итд.). Отуда, на основу износа промене неког физичког својства тела, чија је зависност од температуре позната, могуће је одредити и његову температуру.

Температура одређене средине мери се ***термометром***. (При мерењу температуре неке средине, температура изолованог система (средина - термометар), који се налази у стању термодинамичке равнотеже, је свуда иста.) Уколико при мерењу температуре неке средине, термометар и посматрана средина представљају изолован систем који се налази у стању термодинамичке равнотеже, онда ће њихове температуре бити исте. Међутим, ако се овај систем не налази у равнотежи топлота ће прелазити са тела са вишом на тело са нижом температуром. По успостављању топлотне равнотеже, температуре средине и тела ће постати једнаке, односно, показивање термометра одговараће температури средине.

Принцип рада термометра заснива се на промени изабраног физичког својства ***(термометарско својство)*** неке изабране врсте материјала ***(термометарско тело)*** при промени температуре. При том је, наравно, промена овог физичког својства у зависности од промене температуре позната, а метод мерења температуре и врста термометра управо су одређени изабраним термометарским телом и термометарским својством (овом зависношћу).

Инерција термометра. Температура термометра и средине чију он температуру

мери не изједначавају се тренутно. Време које је потребно да се успостави термодинамичка равнотежа између термометра и средине зависи од интензитета размене топлоте као и карактеристика термометра. Због тога је уведен и параметар којим се ово време изражава - ***коефицијент инерције термометра***. Он се дефинише као време, за које се првобитна разлика између температура термометра и средине умањи за е пута (е = 2,718 - основа природног логаритма).

Осетљивост термометра дефинише се бројем подеока на скали по јединици промене температуре.

Тачност мерења температуре се дефинише разликом између стварне и измерене вредности температуре. Што је ова разлика мања тачност мерења је већа. У метеорологији је уобичајено да се мерење температуре обавља с тачношћу од 0,1 ^{o}C. Под ***тачношћу термометра*** се обично подразумева половина вредности једног подеока на термометру. Мерење температуре у метеоролошким осматрањима је специфично јер у току кратког временског интервала и на малом простору разлике у узмереним температурама могу да буду и неколико степени. Ово нарочито важи за температуре ваздуха измерене у ведрој и хладној ноћи. Оправдано се може поставити питање која је од измерених температура тачна. Очигледно да у том случају треба мерити неку средњу температуру, што се постиже употребом термометра са већом инерцијом.

Скала температуре. Да би температури тела могли придружити бројну вредност, потребно је дефинисати скалу температуре. Ово се обично ради на тај начин што се изаберу две основне тачке, а утврђени опсег између њих подели се равномерно на одређени број делова. Ова равномерна подела скале подразумева да је унапред претпостављено да између промене температуре и промене физичког својства које меримо, постоји линеарна веза. Јединица за мерење темепратуре зависи од избора скале. Данас се највише користи тзв. Целзијусова (Celsius) скала. За основне тачке ове скале узимају се тачка топљења леда (0 ^{o}C) и тачка кључања воде при нормалном атмосферском притиску (101325 Pa). Интервал између ове две тачке подељен је на 100 једнаких делова тако да један овај део одговара промени температуре од 1 ^{o}C (јединица је 1 ^{o}C).

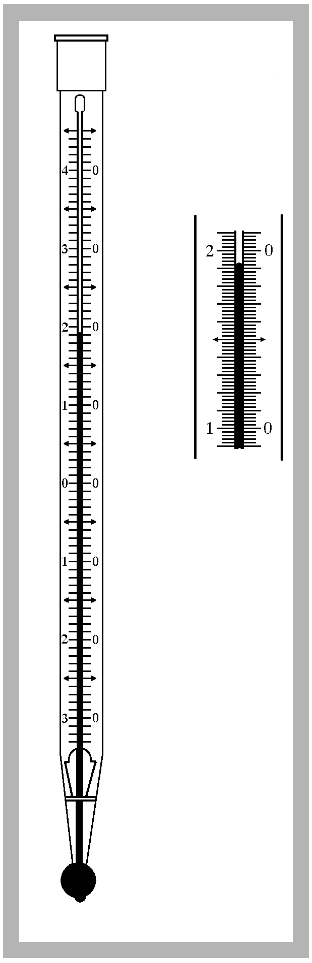
Врсте термометара. У метеоролошким осматрањима најчешће се употребљавају следеће врсте термометара:

1) термометри са течношћу, засновани на принципу промене запремине течности услед промене температуре;

2) деформациони термометри, засновани на принципу промене линеарних димензија чврстих тела услед промене температуре;
3) отпорни термометри, засновани на принципу промене електричног отпора са променом температуре и
4) термоелектрични темометри, засновани на принципу промене индуковане термоелектромоторне силе са променом разлике температуре спојева термоелемента.

3.2 Термометри са течношћу

Ова врста термометара се употребљава за метеоролошка мерења температуре и то углавном на метеоролошким станицама.



Слика 3.1 Обичан живин термометар

Основни делови ове врсте термометара су: 1. стаклени резервоар, који се продужује у једну капиларну цев затопљену при врху; 2. пластична плочица, причвршћена за капиларну цев, са урезаном скалом температуре и 3. заштитни стаклени цилиндар у ком су смештени капиларна цев и пластична плочица са скалом температуре. Будући да је вредност температурског коефицијента запреминског ширења течности већа него што је за стакло, приликом загревања течност се више шири и ниво течности у капилари се подиже до одређеног подеока на скали температуре.

За метеоролошка мерења температуре углавном се употребљавају термометри за живом или алкохолом. Карктеристике ових термометара омогућава мерење температуре са тачношћу од 0,1 °C.

Обичан живин термометар се употребљава за мерење температуре ваздуха, а такође, и при одређивању влажности ваздуха. То је живин термометар са скалом од млечног стакла (сл. 3.1). Дужина термометра износи око 400 mm са пречником заштитног цилиндра од 912 mm. Попречни пресек капиларе је кружног облика са спољним пречником који није мањи од 2,5 mm. Простор у капилари, изнад живиног стуба, испуњен је азотом.

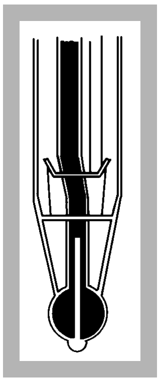
Скала термометра код обичног живиног термометра издељена је у опсегу температуре од -31 °C до +50 °C или од -35 °C до +50 °C . На скали термометра нанети су подеоци на сваких 0,2 °C што омогућава тачност мерења од 0,1 °C . Бројеви на скали назначени су на сваких 5 °C. Термометар се поставља у метеоролошком заклону у вертикалном положају.

Максимални живин термометар се користи за одређивање највише температуре ваздуха у неком временском периоду.

Скала овог термометра издељена је подеоцима, од по 0,5 °C , у опсегу од -35 °C до +60 °C или -20 °C до +70 °C . Овај термометар је тако конструисан да се, након што температура ваздуха достигне максималну вредност, нит живе у близини резервоара прекида. Ово се постиже помоћу једне стаклене игле (сл. 3.2), која једним крајем улази у капилару, као и вакуума изнад живе у капилари. Када температура достигне највишу вредност, жива у капилари достигне одређени ниво да би тамо и остала при снижењу температуре ваздуха. Након очитавања максимални термометар треба да се стресе да би се припремио за показивање максималне температуре ваздуха у наредном периоду.

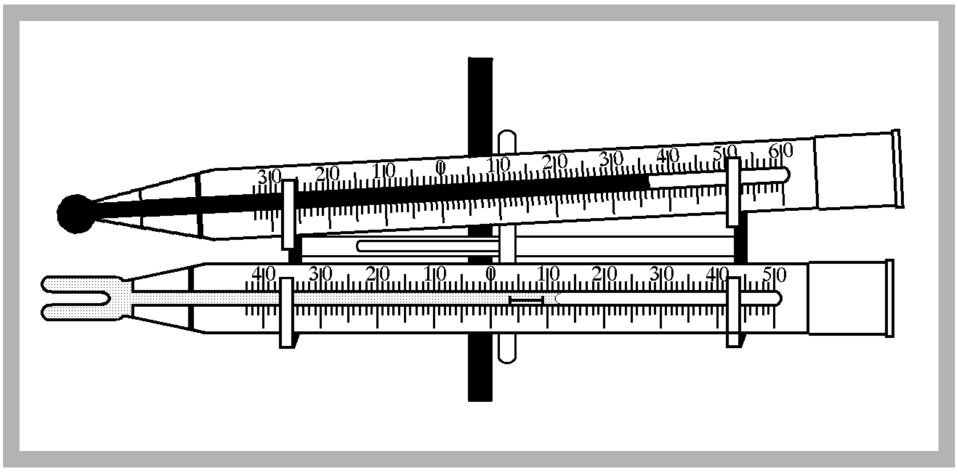
За тачност овог термометра узима се вредност од 0,2 °C , иако је половина најмањег подеока 0,25 °C јер би задржавање друге децимале указивало на већу тачност

мерења од стварне. Максимални термометар се поставља у метеоролошком заклону у хоризонталном положају при чему се његов горњи крај мало подигне (сл. 3.3).



Слика 3.2 Пресек суда максималног термометра

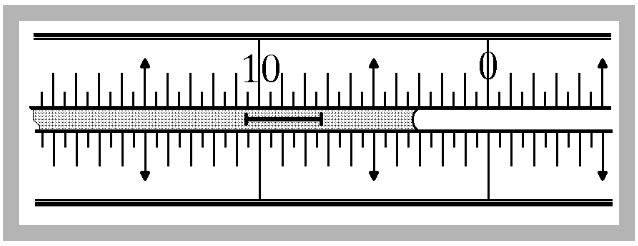
Минимални термометар се користи за одређивање најниже температуре ваздуха у неком временском периоду. Скала овог термометра издељена је подеоцима на сваких 0,5 ^{o}C ; доња граница скале варира од -5 ^{o}C до -41 ^{o}C , а горња граница од +21 ^{o}C до +50 ^{o}C



Слика 3.3 Максимални и минимални термометар

Резервоар и капилара минималног термометра испуњени су етил алкохолом. Унутар капиларе се налази један стаклени штапић (сл. 3.4). При снижавању температуре ваздуха, алкохол се повлачи ка резервоару термометра, мениск алкохола долази до десног краја штапића и повлачи га ка нижим температурама. Када престане пад и настане пораст температуре, алкохол се враћа у десно, штапић остаје у месту и

својим десним крајем назначава најнижу температуру ваздуха. Мениск алкохола означава тренутну температуру ваздуха. Припрема минималног термометра за



Слика 3.4 Штапић у минималном термометру

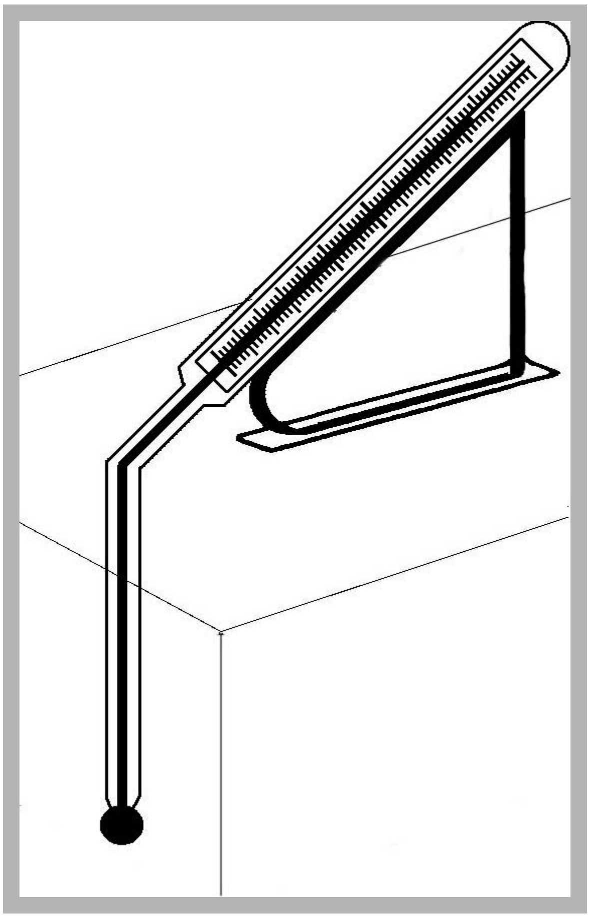
показивање минималне температуре у наредном периоду обавља се враћањем десног краја штапића до мениска алкохола.

Минимални термометар има исту тачност очитавања као и максимални. Поставља се у метеоролошком заклону у хоризонталном положају (сл. 3.3). Минимални термометар се користи и за одређивање температуре ваздуха на висини од 5 cm изнад тла. За ту намену минимални термометар се поставља у посебни заклон.

Геотермометар је термометар који се користи за мерење температуре земљишта на различитим дубинама. У употреби су две врсте геотермометара - коленасти и извлачећи геотермометри.

Коленасти геотермометар има прегиб испод скале док му резервоар стоји вертикално (сл. 3.5). Испод колена је заштитна цев геотермометра ојачана двоструким прстеном. Средина тог прстена служи као мера дубине до које се поставља геотермометар. Наиме, при постављању геотермометра средина прстена треба да је у нивоу површине земљишта. Коленасти геотермометри се употребљавају за мерење температуре земљишта до дубине од 50 cm. За веће дубине користе се извлачећи геотермометри (сл. 3.6).

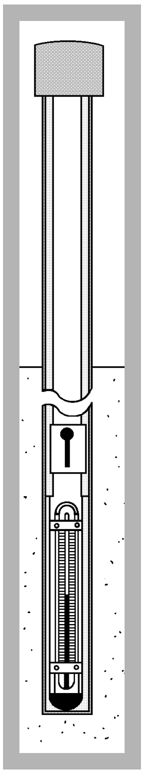
Извлачећи геотермометар је термометар уграђен у пластични цилиндар са резервоаром заштићеним бакарном капом. Цилиндар са термометром се увлачи у пластичну цев која је укопана у земљиште. Врх цилиндра је заштићен поклопцем који спречава продирање падавина у унутрашњост. Тачност геотермометра износи 0,2 ^{o}C.



Слика 3.5 Коленасти геотермометар

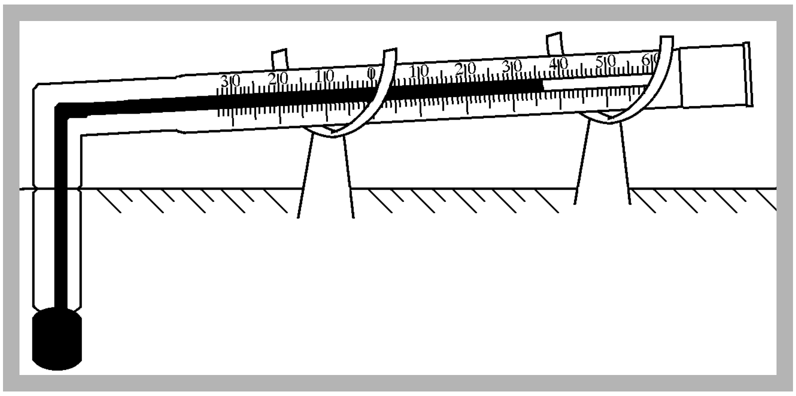
Екстремни (минимални и максимални) геотермометри користе се за одређивање најниже и највише температуре земљишта на одређеној дубини. Постављају се у пару на одређеној дубини. Слични су коленастим геотермометрима с том разликом што им је нагиб скале, у односу на површину земљишта 5 ^{o} (сл. 3.7).

Термометри за мерење температуре воде су најчешће обични живини термометри чија се доња граница мерења обично креће око -5 ^{o}C . Осим ових термометара за мерење температуре воде користе се и тзв. штап термометри. Ови термометри се уграђују у посебан оклоп (сл. 3.8) који их штити од оштећења приликом мерења. На врху оклопа налази се алка за коју се причвршћује уже којим се термометар спушта у воду. Резервоар термометра налази се у металној чаши с отворима по ободу.

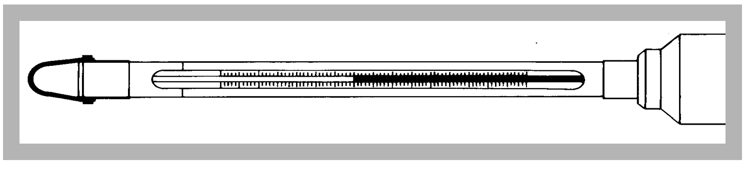


Слика 3.6 Извлачећи геотермометар

Када се термометар извади из воде, вода се задржава у чашици. Тиме се спречава брза промена температуре воде.

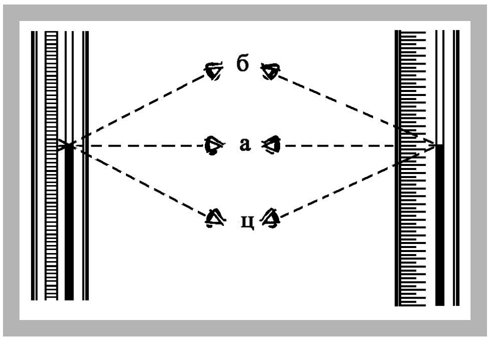


Слика 3.7 Екстремни геотермометар



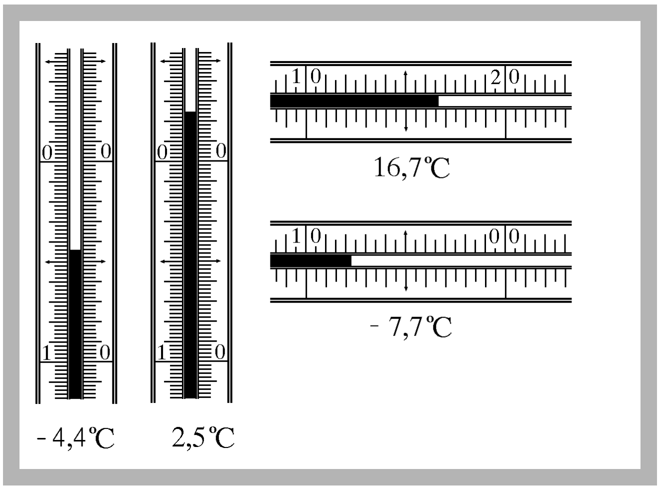
Слика 3.8 Термометар за мерење температуре воде

Очитавање термометра са течношћу - Приликом очитавања термомемтра с течношћу потребно је придржавати се одређених правила јер у противном прочитана



Слика 3.9 Очитавање термометра

вредност неће изражавати праву вредност температуре. Грешка која настаје због неправилног положаја ока осматрача позната је као грешка ***паралаксе***. На слици 3.9 шематски су приказани положаји ока осматрача када долази до ове грешке.



Слика 3.10 Примери очитавања термометра

Надаље, при очитавању термометра потребно је прво утврдити вредност најмањег подеока (десете делове степена) па тек онда целе. Ово је потребно учинити с тога што се при промени температуре најпре мењају десети делови. На слици 3.10 приказани су примери читања обичног термометра (лево) и максималног термометра (десно).

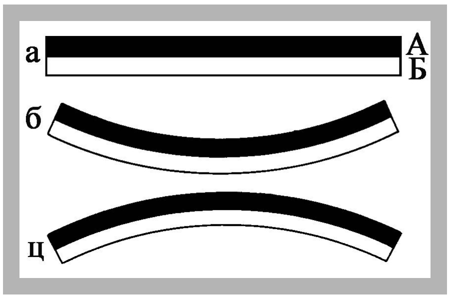
3.3 Деформациони термометри

У метеорологији се углавном користи једна врста деформационих термометара и то ***биметални термометри***. Пријемни део биметалног термометра је биметална плочица. Она се састоји од две металне плочице с различитим температурним коефицијентима линеарног ширења. При промени температуре биметална плочица се савија због различитог издуживања сваке од плочица у односу на њихову дужину на референтној температури.

врста термометра	часови			
	0700	1400	1900	2100
обичан живин термометар	МВ	МВ		МВ
читање	СЕВ		СЕВ	МВ
Максимални				
намештање	СЕВ			МВ
читање	СЕВ		СЕВ	МВ
Минимални				
намештање			СЕВ	МВ
минимални при тлу	СЕВ			СЕВ
Геотермометри				
до 50 cm	МВ	МВ		МВ
до 100 cm		МВ		
читање				МВ
Екстремни				
намештање				МВ

Табела 3.1 Време очитавања и постављања термометра на метеоролошким станицама

На слици 3.11 приказани су облици савијања биматалне плочице која се састоји од метала А са мањим и метала Б са већим температурним коефицијентом линеарног ширења. Положај а, б и ц, редом, одговарају облицима савијања када се температура не мења, повишава и снижава.



Слика 3.11 Деформације биметалне плочице

Уколико је један крај биметалне плочице учвршћен, њен други крај ће се при промени температуре за Δt померати, у односу на положај при референтној температури, за неко растојање Δx које се може изразити формулом

$$\Delta x = \frac{3(\alpha_1 - \alpha_2) l_0^2}{4h} \cdot \Delta t \qquad (3.1)$$

где су: α_1 и α_2 - коефицијенти линеарног ширења метала од којих се састоји биметална плочица; l_o - дужина биметалне плочице и h - њена дебљина. Уколико се узме у обзир да су карактеристике биметалне плочице у формули (3.1) константне за дату плочицу, онда израз (3.1) може да се напише у облику

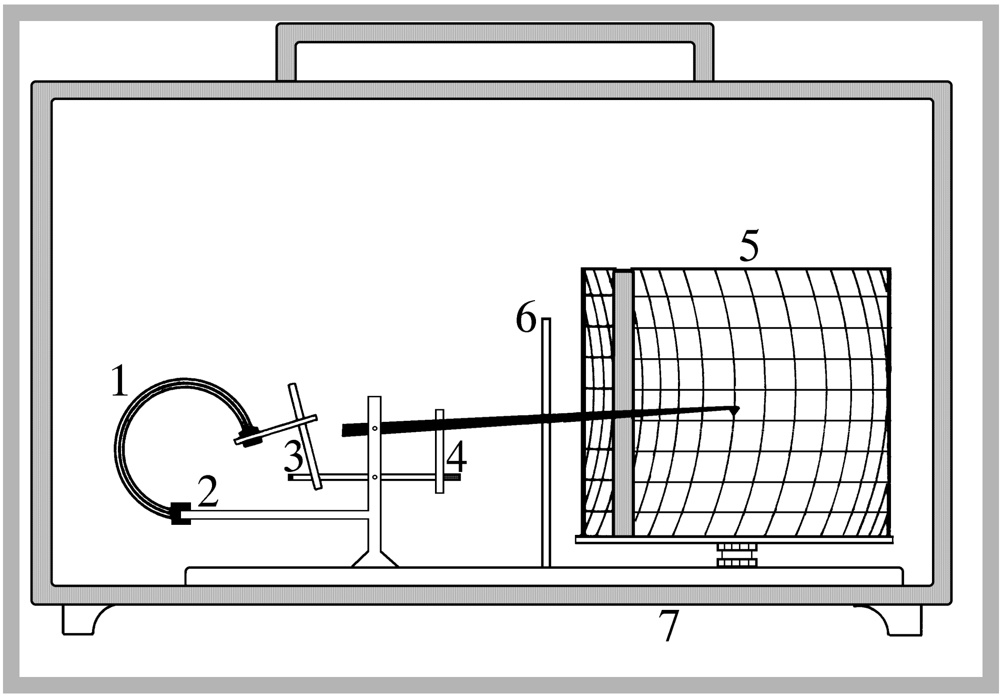
$$\Delta x = K \Delta t \qquad (3.2)$$

где је

$$K = \frac{3(\alpha_1 - \alpha_2) l_0^2}{4h} \qquad (3.3)$$

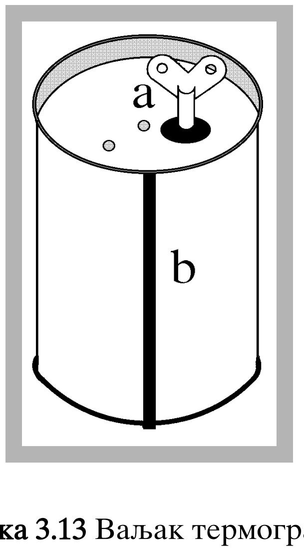
Из израза (3.2) следи да је померање слободног краја биметалне плочице Δx, пропорционално промени температуре Δt. Због тога биметални термометри имају скалу са линеарном поделом. Биметална плочица као пријемни елеменат користи се код термографа, у радиосондама и код неких других метеоролошких инструмената.

Термограф је инструмент који припада групи инструмената који непрекидно бележе промене неког метеоролошког елемента. Термограф непрекидно бележи



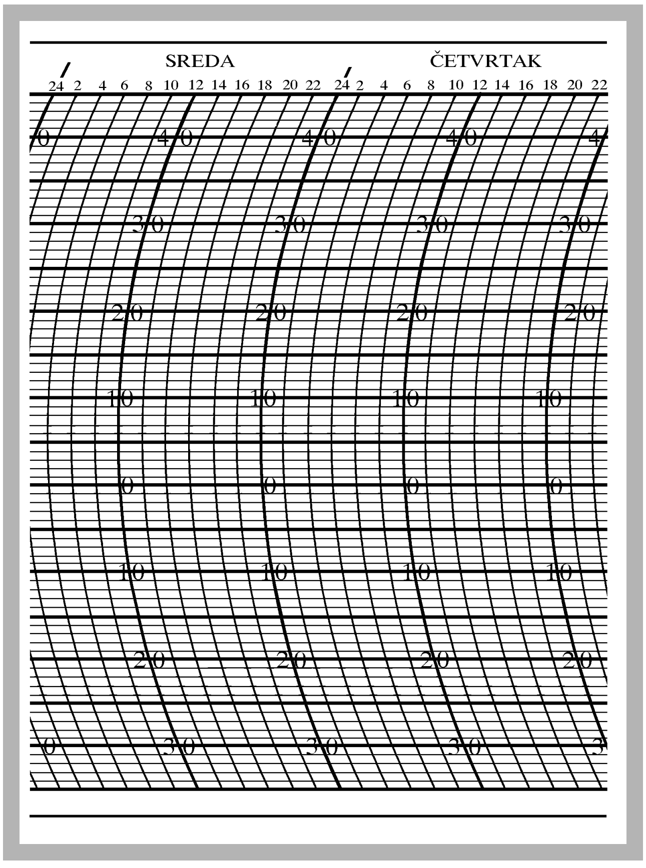
Слика 3.12 Термограф.

температуру ваздуха. Његов пријемник, биметална плочица, постављена је са десне стране унутар кућишта инструмента. Код неких инструмената, биметална плочица смештена је у кућишту, које има отворе за вентилацију. Схема термографа приказана је на слици 3.12. Биметална плочица (1) је једним крајем учвршћена за кућиште. При промени температуре се мења њена закривљеност. Промене у закривљености биметалне плочице преносе се, преко система полуга (2) и писача на траку која је постављена на ваљку са сатним механизмом (5). Положај пера, испуњеног посебном врстоммастила, које се налази на врху писача регулише се уређајем (3) и завртњем (4).



Слика 3.13 Ваљак термографа

Перо се од ваљка одмиче помоћу шипке (6). Целокупан систем термографа је причвршћен за постоље термографа (7). Ваљак термографа (сл. 3.13) у унутрашњости има сатни механизам који се навија кључем (а). За ваљак се стезачем (б) причвршћује термографска трака (сл. 3.14). Ход ваљка може да буде седмодневни или, пак, двадесетчетворочасовни. Термографска трака је лучним линијама подељена на двочасовне интервале. Термограф се поставља у метеоролошки заклон. У току рада, показивање термографа се упоређује с показивањем обичног живиног термометра из метеоролошког заклона. Ово упоређивање се обавља тако што се сваког дана у 7000, 1400 и 2100 час по Месном времену, цртом оставља траг на траци. Помоћу ових црта и вредности температура очитаних са обичног живиног термометра из метеоролошког заклона, коригују се вредности температуре ваздуха уписане на термографској траци. Замена термографске траке обично се обавља понедељком у 0700 часова по Месном времену.



Слика 3.14 Термографска трака

3.4 Отпорни термометри

Принцип рада ових термометара заснива се на промени електричног отпора разних проводника или полупроводника у зависности од промене температуре. Зависност електричног отпора метала R_t, од температуре t може се са довољном тачношћу изразити једначином

$$R_t = R_0 (1 + \alpha_t t) \tag{3.4}$$

где је R_0 - електрични отпор метала на температури од 0 ^oC, а α_t - температурни коефицијент отпора метала.

Термометри који су засновани на овој законитости називају се ***отпорни термометри***. Обично су направљени од бакарне жице пречника 0,02 mm - 0,1 mm. Жица мора да има висок степен хемијске чистоће да би се очувала постојаност коефицијента отпора метала. Линеарна веза између отпора метала и његове температуре, изражена једначином (3.4), значајно поједностављује мерење температуре овом врстом термометара.

Код појединих врста полупроводника постоји веома изражена зависност електричног отпора од температуре. Ова зависност се може изразити формулом

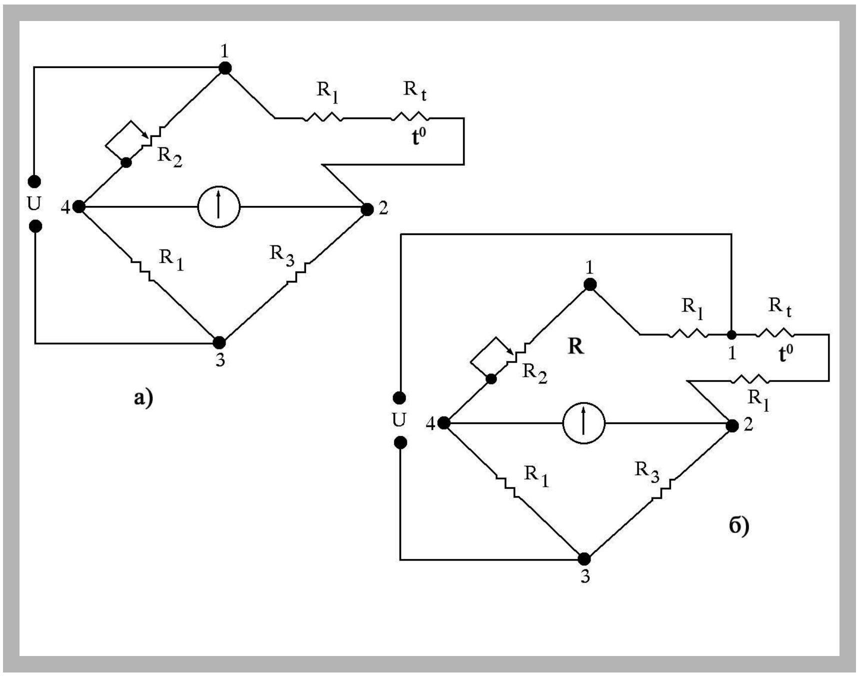
$$R = A\,e^{\frac{B}{T}} \tag{3.5}$$

где је R електрични отпор, T апсолутна температура, док су A и B константе које описују карактеристике полупроводника. Отпорни термометри направљени од полупроводника називају се ***термистори***. За широк опсег полупроводничких материјала, карактеристике A и B имају такве вредности да је промена отпора, за јединичну промену температуре далеко израженија него код метала. Отуда потиче и већа осетљивост термистора у односу на отпорне термометре израђене од метала. С обзиром да веза између отпора и температуре полупроводника није линеарна (једначина 3.5), мерење температуре помоћу термистора је далеко сложеније него када се ради са отпорним термометрима код којих је ова веза линеарна. Међутим, развој

мерне електронике је допринео да овај недостатак термистора изгуби на значају.

Примена отпорних термометара подразумева и употребу мерне схеме која омогућава мерење отпора термометра. Најчешће употребљавана схема је Витстонов (Wheatstoneov) мост (сл. 3.15). Отпорни термометар се у шему мерења може поставити на разне начине. Међутим, најчешће се употребљава схема равнотежног и неравнотежног моста константне струје. Када се мост налази у равнотежи, разлика потенцијала у тачкама 2 и 4 (сл. 3.15а) једнака је нули тако да кроз мерни инструмент не тече електрична струја. Ово је испуњено за случај када је задовољен услов

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_t}{R_3} \tag{3.6}$$



Слика 3.15 Мерне схеме равнотежног моста

Уколико се у услову (3.6) електрични отпор R_t замени са десном страном једначине (3.4) и добијена једначина реши по t , добија се да је

$$t = \frac{R_2 R_3 - R_1 R_0}{\alpha_t R_1 R_0} \tag{3.7}$$

или

$$t = a R_2 + b \tag{3.8}$$

где је

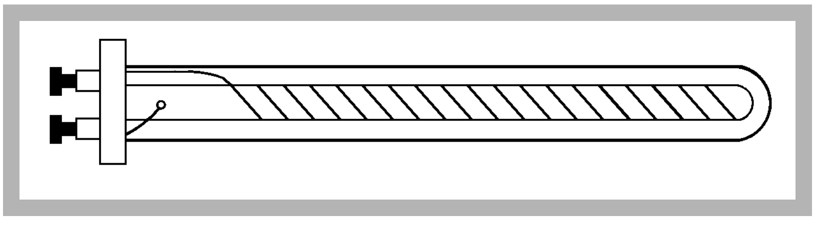
$$a = \frac{R_3}{\alpha_t R_1 R_0} \quad ; \quad b = -\frac{1}{\alpha_t} \tag{3.9}$$

Скала промењљивог отпора R_t је издељена у степенима и линеарна, с обзиром да је веза (3.8) између температуре и отпора такође линеарна. Приликом мерење температуре неке средине која је удаљена од мерне шеме (растојање дуже од 20 m) потребно је водити рачуна о електричном отпору линије веза (каблови). Ова врста отпора, на слици 3.15, симболички је означена са R_l. Отпор електричних веза може да наруши режим мерења што резултује грешком при очитавању вредности температуре. У таквим случајевима грешка се смањује применом компензационог вода (сл. 3.15б). Компензација се постиже са три линије везе. Том приликом једна линија везе се редно везује са отпорником R_2, друга редно са отпорником R_3, док се трећа линија везе везује непосредно уз отпорни термометар. Пошто су све три линије везе у једном каблу, онда се узима да се налазе у истим условима. У оваквом мосту вредност температуре се добија преко израза

$$t = \frac{R_2 R_3 - R_1 R_0}{\alpha_t R_0} + \frac{R_3 R_1}{\alpha R_1 R_0} R_l \tag{3.10}$$

Када су отпори R_1 и R_3 једнаки, други члан једначине (3.10) који садржи R_l постаје једнак нули тако да мерење температуре не зависи од отпора линије везе. Температура се може мерити отпорним термометрима и применом шеме неуравнотеженог моста. У том случају температура се одређује на основу јачине струје коју показује галванометар постављен на дијагонали моста.

Платински термометар је отпорни термометар (сл. 3.16) који се најчешће користи при мерењу температуре ваздуха у микрометеоролошким мерењима. Овај термометар



Слика 3.16 Платински термометар

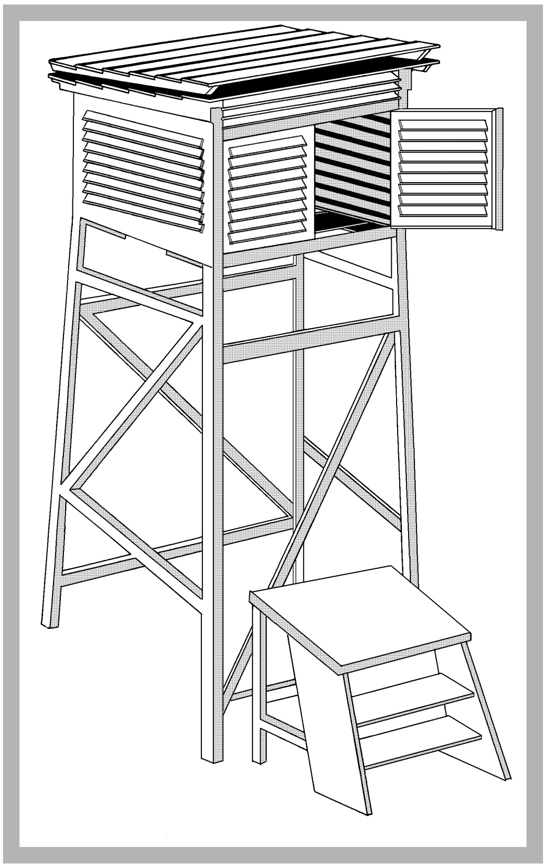
је направљен од платинске жице, пречника 0,03 mm - 0,04 mm, намотане на стаклену цев која се налази у цилиндру од кварцног стакла. Температура ваздуха или земљишта се помоћу овог термометра може мерити са тачношћу 0,1 ^{o}C - 0,2 ^{o}C .

3.5 Мерење температуре ваздуха и земљишта

У мрежи метеоролошких станица температура ваздуха се мери на отвореном простору на висини од 2 m изнад површине тла. Измерена температура ваздуха представља неку средњу температуру (период осредњавања износи неколико минута) слоја ваздуха (дебљине 10 cm - 20 cm) чија се средина налази на наведеној висини. Инструменти за мерење и регистровање температуре ваздуха постављају се у посебним метеоролошким заклонима који их штите од падавина и зрачења.

Метеоролошки заклон. Ради заштите инструмената за мерење температуре и влажности ваздуха од непосредног утицаја зрачења, падавина и јаких ветрова, међународном конвенцијом је усвојен тип заклона за смештај инструмената, који носи назив метеоролошки заклон. Заклон је четвороугаоног облика са ребрастим странама од двоструких шалузина (сл. 3.17). Једну страну чине врата, која се отварају у поље. Доњи део заклона се састоји од три даске, од којих средња надкриљује друге две. Испод заклона разапета је жичана мрежа ради спречавања уласка птица у заклон. Кров заклона је двострук и мало нагнут на страну супротну од оне где су врата. На свакој страни заклона налазе се отвори кроз које ваздух слободно струји. Заклон се боји белом масном бојом. Постоје две врсте заклона - мањи и већи. Они су истог облика само су различитих димензија. Мањи заклон је предвиђен за инструменте без писача. Димензије већег заклона су: 1) унутрашња висина - 69 cm; 2) унутрашња дубина - 74 cm и 3) унутрашња ширина - 88 cm. Предња страна заклона, од доње ивице заклона до крова, треба да је висине 115 cm, а задња - висине 103 cm. Заклон стоји на четвороножним ногарима чија се висина подешава тако да од земље до висине суда влажног термометра буде тачно 2 m. Ноге заклона се причвршћују за посебне бетонске стубиће. Испред заклона стављају се посебне степенице које служе за стајање при осматрању. Заклон се поставља у кругу метеоролошке станице тако да

врата буду окренута у правцу севера, како сунчеви зраци не би падали на инструменте за време док су врата отворена. При постављању заклона треба водити рачуна да дно буде тачно у хоризонталном положају.



Слика 3.16 Метеоролошки заклон

У већи метеоролошки заклон смештају се следећи инструменти:

1. суви термометар
2. влажни термометар

} психрометар

3. минимални термометар
4. максимални термометар

} екстремни термометри

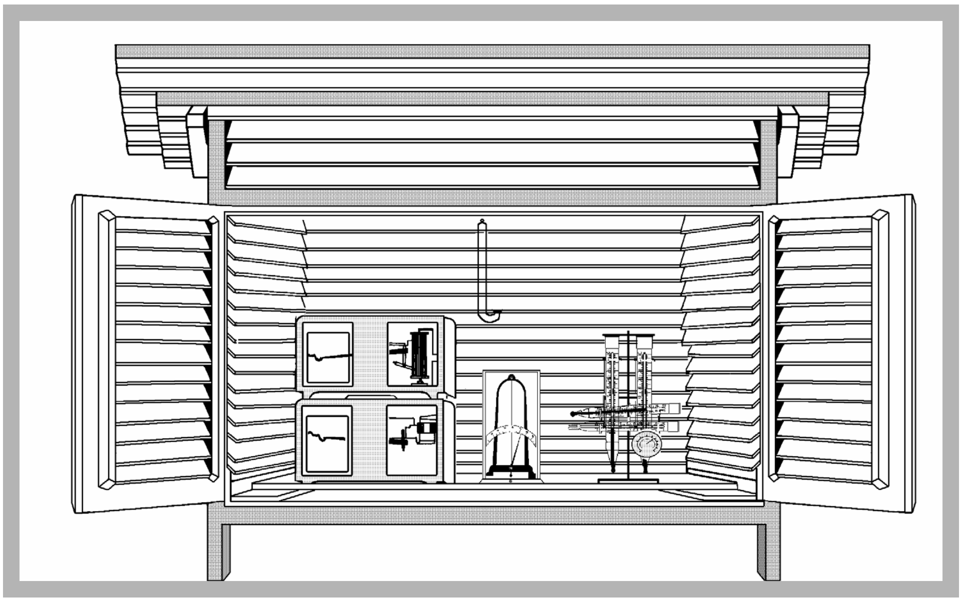
5. термограф
6. хигрограф

} писачи

7. хигрометар

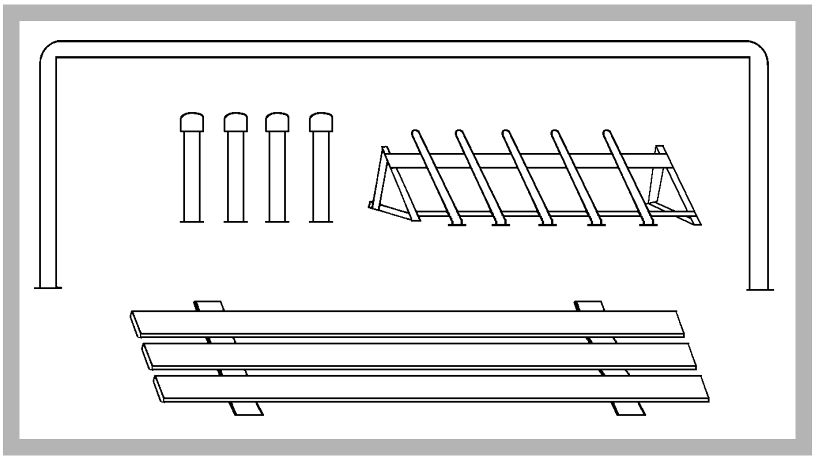
8. Пишеов испаритељ.

Начин смештаја ових инструмената приказана је на слици 3.18.



Слика 3.18 Распоред инструмената у метеоролошком заклону

Геотермометарско поље. Геотермометри се постављају на јужној страни метеоролошког круга. Место на коме се постављају геотермометри мора да задовољава следеће услове: а) да је репрезентативно по типу земљишта за ширу околину, б) да на њега не пада сенка околних предмета, в) да је без вегетације (1 m од геотермометара у свим правцима) и г) да је равно, како се за време излучивања падавина не би скупљала вода. На геотермометарском пољу (сл. 3.19) постављају се геотермометри, најпре коленасти а потом извачећи. Коленасти геотермометри постављају се по растућим дубинама од 2 cm, 5 cm, 10 cm, 20 cm и 30 cm, при чему је растојање између геотермометара 10 cm.



Слика 3.19 Геотермометарско поље

Они се постављају тако да је скала геотермометара окренута ка северу. Ради лакшег очитавања коленастих геотермометара, на око 50 cm од њих поставља се метална или дрвена шипка, а поред ње постоље од дрвених летвица. Извлачећи геотермометри постављају се на дубинама од 50 cm и 100 cm у истој линији са коленастим геотермометрима на растојању од 20 cm од последњег. Растојање између извлачећих геотермометара износи 20 cm. Екстремни (максимални и минимални) геотермометри постављају се појединачно или у паровима за сваку поједину дубину мерења.

3.6 Контролна питања

1. Шта су то термометарско тело и термометарско својство?
2. Објасни инерцију термометара.
3. Набројати врсте термометара које се најчешће употребљавају при стандардним метеоролошким осматрањима.
4. На ком принципу се заснива рад термометара са течношћу?
5. Описати принцип рада и начин постављања максималног и минималног живиног термометра.
6. Побројати врсте геотермометара.
7. Које грешке могу да наступе при очитавању темометара са течношћу?
8. На ком принципу се заснива рад деформационих термометара? Описати термограф.
9. Шта су то отпорни термометри и које врсте ових термометара се најчешће употребљавају при метеоролошким осматрањима?
10. Које шеме мерења се употребљавају код отпорних термометара?
11. При којим метеоролошким осматрањима се најчешће употребљавају платински

термометри?
12. Како се мери температура ваздуха у мрежи метеоролошких станица?
13. Описати метеоролошки заклон.
14. Који се инструменти смештају у метеоролошки заклон?
15. Како су распоређени геотермометри у геотермометарском пољу?

4

АТМОСФЕРСКИ ПРИТИСАК

4.1 Општи појмови

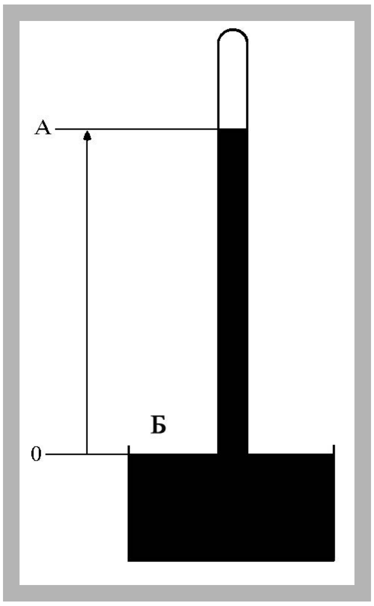
Атмосферски притисак p, је последица дејства тежине ваздуха на предмете које он окружује и бројно је једнак тежини ваздушног стуба јединичног попречног пресека чија је висина од тачке у којој се притисак одређује па до горње границе атмосфере. Јединица за мерење притиска је паскал (Pa), док је у метеорологији у употреби и јединица милибар (mb). Између милибара и паскала постоји релација - 1 mb = 100 Pa. Наравно, данас се још увек могу срести инструменти код којих је притисак изражен у милиметрима живиног стуба (mm Hg), т.ј. у торима (torr).

Нормални атмосферски притисак је притисак који је компензован живиним стубом висине 760 mm када се налази под дејством силе Земљине теже која влада на географској ширини од 45^{o} и на нивоу мора, када је температура живе 0 ^{o}C. Нормални атмосферски притисак износи 101,325 Pa, т.ј. 1013,25 mb.

За графичко приказивање поља атмосферског притиска користе се изобаре и изобарске површине. ***Изобаре*** су линије које повезују тачке са истим вредностима притиска редукованог на ниво мора које се наносе на географку карту. ***Изобарска површина*** је површина у чијој је свакој тачки притисак исти. Приликом графичког представљања изобарских површина на географску карту се уносе изолиније које повезују тачке са истом висином одређене изобарске површине.

4.2 Живин барометар

Прибор којим је Торичели (Torricelli) доказао постојање атмосферског притиска представља и данас главни део барометра. У Торичелијевој цеви притисак стуба живе се налази у равнотежи са спољним, атмосферским притиском. На слици 4.1 приказана је схема барометра.



Слика 4.1 Схема барометра

На површину живе у чаши (Б) делује атмосферски притисак. Ако у ову чашу заронимо цев из које је евакуисан ваздух ниво живе у цеви ће расти, у складу са Паскаловим законом (Pascal), све док се хидростатички притисак живе не изједначи са атомсферским притиском. Хидростатички притисак стуба живе висине h_b се може написати у облику

$$p = \rho g h_b \qquad (4.1)$$

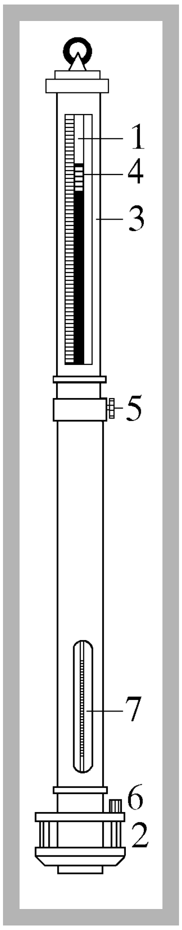
где је ρ густина живе, а g убрзање силе теже.

У барометру се може користити било која течност. Међутим, због велике густине, релативно кратак стуб живе уравнотежава атмосферски притисак, што у многоме олакшава конструкцију барометара. Примера ради, када би за мерење

атмосферског притиска била коришћена вода, уместо живе, дужина барометра би требала да буде већа од 10 m. Осим тога, при температурама до 60 ^{o}C, притисак паре живе је врло мали па због тога притисак живине паре, која се налази у барометарској цеви, не утиче битно на показивање барометра. За мерење сасвим малих притисака употребљавају се барометри са другим течностима, на пример са глицерином.

Живин барометар (сл. 4.2) се састоји од стаклене цеви, у којој се налази жива (1), која је заштићена металним оклопом (3). На дну цеви се налази гвоздени суд са живом (2). На горњем делу гвозденог суда налази се отвор (6) који омогућава да се жива у чаши налази под дејством спољашњег, односно, атмосферског притиска.

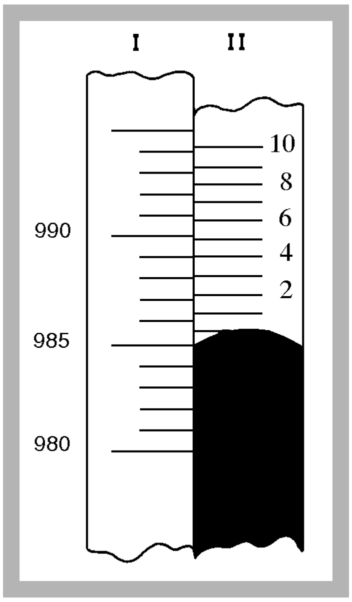
Барометарска скала урезана је у метални оклоп са једне стране прореза, кроз који се види ниво живе у стакленој цеви. Границе скале зависе од надморске висине метеоролошке станице. Пре очитавања притиска са барометра потребно је очитати температуру барометарског стања, тј. температуру живе у барометру. Она се очитава са термометра који је уграђен у метални оклоп (7).



Слика 4.2 Живин барометар

За очитавање десетих делова милибара користи се нонијусна скала која је на слици 4.3. означена са II, док је основна скала означена са I. Приликом очитавања притиска, нонијусна скала (4) помери се завртњем (5) у такав положај да се њена доња основа поклопи са врхом мениска стуба живе. Потом се са основне скале очита вредност притиска у милибарима, а са нонијусне скале десети делови милибара. На пример, на слици 4.3 притисак очитан са основне скале износи 985 mb и, будући да се четврти подеок на нонијусној скали најбоље поклапа са једним од подеока на основној скали, на притисак очитан са основне скале треба додати још 0,4 mb, тако да је очитана вредност притиска 985,4 mb.

Висина стуба живе, чији притисак је у равнотежи са атмосферским притиском, зависи и од температуре живе и убрзања силе Земљине теже. Постоји и низ других фактора који утичу на промену висине живиног стуба али они, на овом месту, неће бити разматрани. Приликом мерења притиска живиним барометром на метеоролошкој станици, потребно је, узимајући у обзир побројане факторе, обавити



Слика 4.3 Очитавање живиног барометра

корекције на температуру, географску ширину и надморску висину, не занемарујући ни грешку самог инструмента.

Корекција притиска на температуру. Приликом мерења притиска живиним барометром подразумева се да жива има густину $13{,}595 \cdot 10^3$ kgm^{-3} што је тачно једино при температури живе од 0 ^{o}C. Пошто је температура барометарског стања t_t најчешће

различита од нуле, онда вредности добијене са живиног барометра треба да се редукују на вредности које би барометар показао када би температура барометарског стања била 0 °C. Та корекција се обавља преко израза

$$p_0 = p_t (1 - 0{,}00018 \cdot 2 t_t) \quad (4.2)$$

где је са p_0 означен притисак редукован на температуру од 0 °C, а са p_t притисак очитан са живиног барометра. У табели 4.1 дате су корекције за редукцију притиска на температуру од 0 °C.

t_t	атмосферски притисак							
	970	980	990	1000	1010	1020	1030	1040
10	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9
11	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1
12	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3
13	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2.4	2,5
14	2,5	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,6
15	2,6	2,7	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,8
16	2,8	2,9	2,9	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0
17	3,0	3,0	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2
18	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,3	3,4	3,4
19	3,4	3,4	3,4	3,5	3,5	3,5	3,6	3,6
20	3,6	3,6	3,6	3,6	3,7	3,7	3,7	3,8
21	3,7	3,7	3,8	3,8	3,9	3,9	3,9	4,0
22	3,9	3,9	4,0	4,0	4,0	4,1	4,1	4,2
23	4,1	4,1	4,1	4,2	4,2	4,3	4,3	4,4
24	4,2	4,3	4,3	4,4	4,4	4,5	4,5	4,5
25	4,4	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,7	4,7
26	4,6	4,6	4,7	4,7	4,8	4,8	4,9	4,9
27	4,8	4,8	4,9	4,9	5,0	5,0	5,1	5,1
28	4,9	5,0	5,0	5,1	5,1	5,2	5,2	5,3
29	5,1	5,2	5,2	5,3	5,3	5,4	5,4	5,5
30	5,3	5,4	5,4	5,5	5,5	5,6	5,6	5,7

Табела 4.1 Корекција притиска (mb), очитаног са живиног барометра на температуру од 0 °C у зависности од температуре (°C) (све вредности имају негативан предзнак)

Корекција притиска на географску ширину. Услед ротације Земље око своје осе, убрзање силе теже g, зависи од географске ширине (на половима је највеће, а на

екватору најмање). Имајући у виду једначину (4.1), очигледно је да ће, на различитим географским ширинама исте вредности атмосферског притиска бити уравнотежене стубовима различите висине. То је, истовремено, разлог што барометри, који се обично баждаре на убрзање силе Земљине теже која влада на 45° географске ширине (g=9,81 m s^{-2}), на мањим географским ширинама показују већу, а на већим географским ширинама мању вредност притиска од стварне. Зато се при мерењу притиска живиним барометром обавља корекција притиска на географску ширину преко израза

$$p_{45} = p_t\,(1 - 0{,}00265\cos(2\varphi)) \qquad (4.3)$$

где је са p_{45} означен притисак који би показао живин барометар када би се налазио под дејством силе Земљине теже која влада на 45° географске ширине, а са φ географска ширина места. У табели 4.2 су дате вредности ове корекције за поједине географске ширине.

Корекција притиска на надморску висину. Са повећањем надморске висине смањује се убрзање силе Земљине теже што доводи до тога да барометар показује већу вредност притиска од стварне. Зато је потребно обавити корекцију притиска на надморску висину. За станице које се налазе на надморској висини од 400 m до 1000 m поправка износи -0,1 mb, док за станице, на висинама од 1000 m до 1600 m она износи -0,3 mb.

φ	притисак							
	970	980	990	1000	1010	1020	1030	1040
35	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9
40	-0,4	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
50	+0,4	+0,5	+0,5	+0,5	+0,5	+0,5	+0,5	+0,5
55	+0,9	+0,9	+0,9	+0,9	+0,9	+0,9	+0,9	+0,9
60	+1,3	+1,3	+1,3	+1,3	+1,3	+1,3	+1,4	+1,4
65	+1,7	+1,7	+1,7	+1,7	+1,7	+1,7	+1,8	+1,8

Табела 4.2 Корекција притиска (mb), очитаног са живиног барометра, на географску ширину од 45° у зависности од географске ширине (°)

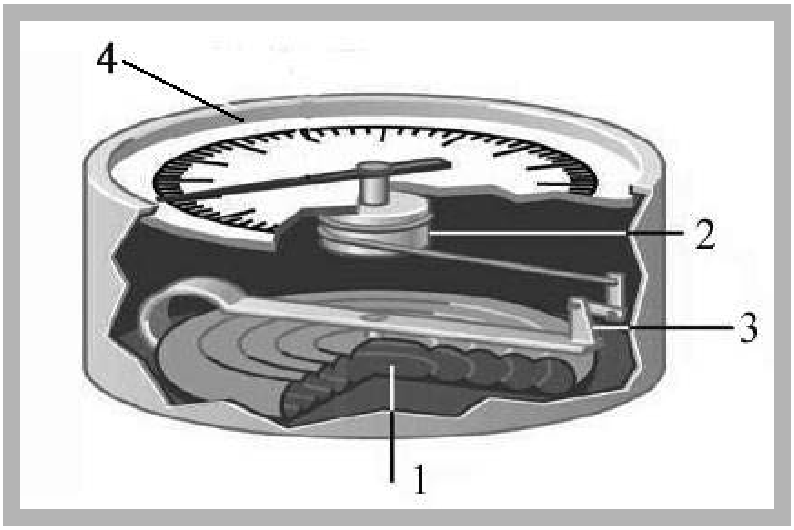
Инструментална поправка. При изради живиног барометра, и поред велике пажње, није могуће избећи извесне непрецизности које доводе до појаве инструменталне грешке. Вредност ове грешке, која није већа од једне десетине

милибара, могуће је утврдити само уколико се попказивање барометра упореди са еталоном.

Од набројаних корекција, три (на географску ширину, надморску висину и инструментална поправка) имају неку сталну вредност за метеоролошку станицу где је смештен живин барометар. Збир ове три корекције се зато назива стална поправка. Према томе задатак осматрача се састоји само у томе да очитани притисак коригује поправком на температуру и сталном поправком.

4.3 Мерење атмосферског притиска деформационим инструментима

Познато је да је по Хуковом закону (Hooke) мала деформација крутог тела пропорционална напону који је изазива. Управо је тај закон искоришћен при конструисању деформационих инструмената - анероида. Пријемни део код анероида састоји се од једне или више лимених кутија из којих је евакуисан ваздух. Ако се спољашњи притисак повећа кутијица се угне, док се у супротном шири услед еластичности материјала од ког је направљена. Ово угибање и ширење кутијице сразмерно промени атмосферског притиска. Међутим, особине еластичности материјала се мењају при промени температуре.

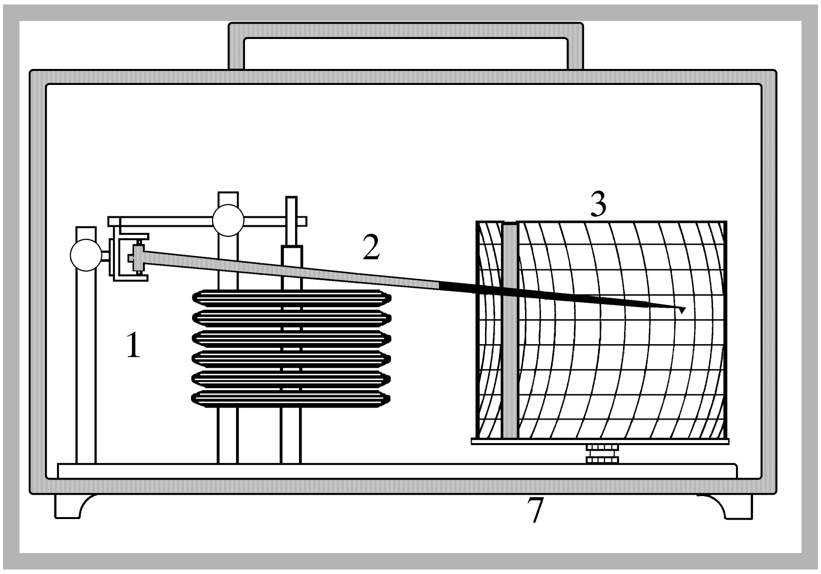


Слика 4.4 Унутрашњост барометра анероида

Ово је нарочито изражено на вишим температурама, када и без промене спољашњег притиска казаљка показује постојање извесног додатног притиска. Ова грешка се може компензовати или биметалном плочицом или гасом којим се испуњавају у кутије.

Барометар анероид. Пријемни део овог инструмента (сл. 4.4) састоји се из једне анероидне кутије (1) која је преко осовине (2) повезана са биметалном плочицом (3). Свака промена притиска изазива деформацију анероидне кутије која се преко система полуга преноси на казаљку, а бројна вредност притиска се може очитати на скали. Механизам барометра анероида смештен је у или металну или бакелитну кутију која је прекривена стаклом (4).

Барограф. Овај инструмент се користи за мерење и истовремено бележење атмосферског притиска (сл. 4.4). Принцип рада му је исти као и код барометра анероида с том разликом што у њему постоји више анероидних кутија које су наслагане једна на другу сачињавајући анероидни стуб (1). Промене притиска се са анероидног стуба писачем (2) преносе на барографску траку



Слика 4.5 Барограф

(3). Број анероидних кутија у стубу одређује и осетљивост инструмента. Контрола вредности атмосферског притиска очитаног са барографа врши се упоређивањем са вредностима очитаним са живиног барометра.

4.4 Редукција притиска на ниво мора

Поступак ***редукције притиска на ниво мора*** је уобичајени поступак који се примењује у метеоролошкој пракси а с којим се обезбеђује могућност поређења притисака истовремено осмотрених на метеоролошким станицама које се налазе на различитим надморским висинама.

Ако се нека метеоролошка станица налази на надморској висини H онда ће ваздушни стуб, од нивоа мора па до горње границе атмосфере, бити скраћен за ту висину. У том случају атмосферски притисак на нивоу мора p_m, испод станице, се може израчунати преко израза

$$p_m = p_0 + \frac{H}{h} \tag{4.4}$$

где је са h означена величина која показује за које се вертикално растојање атмосферски притисак промени за 1 mb. Ова величина се назива ***барометарски висински степен*** и може да се израчуна преко Бабинетове једначине (Babinett)

$$h = 8000 \cdot \frac{1+\alpha t}{p_0} \tag{4.5}$$

где је са α означен температурни коефицијент запреминског ширења ваздуха чија је бројна вредност 0,004 $^oC^{-1}$, док је са t означена температура ваздуха.

Задатак 4.1

На метеоролошкој станици на Римским Шанчевима 24. октобра 1982. године у 0700 часова по СЕВ-у, живиним барометром, чија је инструментална поправка -0,1 mb, очитани су: притисак p_t = 997,4 mb, температура барометарског стања t_t = 16,7 ^oC и температура ваздуха t = 18,2 ^oC. Римски Шанчеви се налазе на географској ширини φ = $45^o\ 20'$ N и надморској висини H = 84 m. Одредити: **а)** стварну вредност атмосферског притиска коригујући очитану вредност на температуру и урачунавајући сталну поправку; **б)** барометарски висински степен и **в)** вредност атмосферског притиска редукованог на ниво мора.

Решење:

а) Метеоролошка станица Римски шанчеви налази се на приближно 45° северне географске ширине и на надморској висини од 84 m па није потребно обављати корекције притиска на географску ширину и надморску висину. Заокруживањем вредности притиска p_t = 997,4 mb на 1000 mb и температуре барометарског стања t_t = 16,7 °C на 17 °C, из табеле 4.1, налази се да одговарајућа корекција притиска на температуру износи -3,1 mb. Како је инструментална поправка -0,1 mb, онда стварна вредност атмосферског притиска p_0 износи

$$p_0 = 997{,}4\ \text{mb} - 3{,}1\ \text{mb} - 0{,}1\ \text{mb} = 994{,}2\ \text{mb}$$

дан	p_t	t_t	t	дан	p_t	t_t	t
1.	1000,9	19,8	16,6	14.	1018,6	19,0	5,1
2.	998,2	21,9	17,9	15.	1011,4	18,0	8,7
3.	1003,3	21,9	17,9	16.	1012,6	18,1	5,2
4.	998,3	21,0	13,0	17.	1017,5	17,2	0,0
5	996,9	18,8	16,4	18.	1011,7	16,9	0,8
6.	1002,5	20,9	16,1	19.	1009,3	17,6	11,0
7.	1006,3	21,0	14,9	20.	1008,1	16,2	6,3
8.	1012,2	20,1	12,1	21.	1008,3	17,9	9,0
9.	1020,1	15,0	7,4	22.	1014,1	16,7	11,0
10.	1019,3	18,6	6,9	23.	1011,9	17,8	6,7
11.	1016,9	19,0	10,2	24.	1011,7	17,9	7,8
12.	1008,4	19,0	13,0	25.	1010,9	18,0	8,7
13.	1013,4	19,1	14,6				

Табела 4.3 Вредности атмосферског притиска p_t (mb), температуре барометарског стања t_t (°C) и температуре ваздуха t (°C) на 2 m очитане са живиног барометра на метеоролошкој станици на Римским Шанчевима у периоду 1. - 25. октобра 1984. године

б) Барометарски висински степен h израчунава се преко једначине (4.5) на основу које се, после замене одговарајућих вредности, добија да је

$$h = 8000 \cdot \frac{1 + 0{,}004 \cdot 18{,}2}{994{,}2} = 8{,}6\ \text{m}\,\text{mb}^{-1}$$

в) Заменом вредности за притисак на 0 °C и барометарски висински степен, у једначину (4.4) добија се

$$p_m = 994{,}2 + \frac{84}{8{,}6} = 1003{,}97\ \text{mb}$$

4.5 Контролна питања и задаци

1. Дефинисати атмосферски притисак.
2. Које се јединице употребqавају за изражвање атмосферског притиска?
3. На ком принципу функционише живин барометар?
4. Које се све корекције обављају после очитавања притиска са живиног барометра?
5. На ком принципу функционишу деформациони инструменти за мерење атмосферског притиска?
6. Како се компензује додатни притисак у анероидној кутији?
7. Шта условљава осетљивост барографа?
8. Дефинисати барометарски висински степен.
9. Због чега се обавља редукција атмосферског притиска на ниво мора?

Задатак 4.2

На метеоролошкој станици на Римским Шанчевима у 0700 часова по СЕВ-у очитано су са живиног барометра: притисак p_t, температура барометарског стања t_t и температура ваздуха t на висини од 2 m (табела 4.3). Метеоролошка станица Римски Шанчеви налази се на $45^o\ 20^{'}$ N и на надморској висини од 84 m. Одредити: **а)** стварну вредност атмосферског притиска коригујући очитану вредност на температуру и урачунавајући сталну поправку; **б)** барометарски висински степен и **в)** вредност атмосферског притиска редукованог на ниво мора.

5

ВЛАЖНОСТ ВАЗДУХА

5.1 Елементи влажности ваздуха

Влажан ваздух, који нас окружчује, представља смешу сувог ваздуха и водене паре. Садржај водене паре у ваздуху представља влажност ваздуха. За квантитативно изражавање влажности ваздуха користе се разни показатељи, тј. физичке величине које на различите начине описују садржај водене паре у ваздуху, а које се једним именом зову ***елементи влажности ваздуха***. У метеорологији је уобичајено да се под елементима влажности ваздуха подразумевају: притисак водене паре, апсолутна влажност ваздуха, специфична влажност ваздуха, релативна влажност ваздуха, дефицит засићености, однос смесе и тачка росе.

Притисак водене паре e, у ваздуху изражава се као и атмосферски притисак, у милибарима и показује парцијални притисак водене паре која се налази у ваздуху. ***Максимални притисак водене паре*** представља граничну вредност притиска водене паре при постојећој температури. Зависност максималног притиска водене паре E, од температура сувог термометра t и влажног термометра t_1, може се изразити Магнусовим једначинама (Magnus)

$$E_1 = 10^{\left(\frac{\alpha t_1}{t_1+\beta}+\gamma\right)} \tag{5.1}$$

и

$$E = 10^{\left(\frac{\alpha t}{t+\beta}+\gamma\right)} \tag{5.2}$$

где су α, β и γ константе чије вредности зависе од тога да ли се максимални притисак водене паре E, рачуна у односу на воду ($t_1 > 0$ °C) или у односу на лед ($t_1 \leq 0$ °C). Бројне вредности ових константи су приказане у табели 5.1.

	α	β	γ
$t_1>0$	7,5	237,3	0,786
$t_1\leq 0$	9,5	265,5	0,786

Табела 5.1 Вредности константи у Магнусовим једначинама

Апсолутна влажност ваздуха a, представља масу водене паре која се садржи у 1 m^3 ваздуха и изражава се у $kg\ m^{-3}$.

Специфична влажност ваздуха s, је маса водене паре, изражена у грамима, која се садржи у једном килограму влажног ваздуха и изражава се у $g\ kg^{-1}$.

Релативна влажност ваздуха r, је однос притиска водене паре, која се налази у ваздуху, и максималног притиска водене паре при постојећој температури ваздуха, изражен у процентима, тј.

$$r = \frac{e}{E} \cdot 100\% \tag{5.3}$$

Дефицит засићености ваздуха d, представља разлику између максималног притиска водене паре при постојећој температури ваздуха и притиска водене паре садржане у ваздуху

$$d = E - e \tag{5.4}$$

Тачка росе t_d. Када је ваздух потпуно засићен воденом паром онда се температура коју ваздух има назива тачком росе. Уколико је познат притисак водене паре, онда је тачку росе t_d могуће одредити табличним путем ($t = t_d$ за $e = E$) или преко израза

$$t_d = \frac{\beta(\log e - \gamma)}{\alpha + \gamma - \log e} \tag{5.5}$$

Однос смесе f, представља однос масе водене паре и масе сувог ваздуха у истој запремини влажног ваздуха и изражава се у $g\ kg^{-1}$.

5.2 Психрометарски метод одређивања влажности ваздуха

Психрометарским методом влажност ваздуха се одређује на основу показивања два једнака термометра, од којих је једном термометарско тело умотано влажном крпицом (влажан термометар), а другом није (суви термометар). Када околни ваздух није засићен воденом паром, са површине влажног термометра (тј. површине крпице) долази до испаравања воде, при чему интензитет испаравања зависи од влажности ваздуха. Топлоту, која је потребна да би се одвијао процес испаравања, вода која испарава са крпице одузима од самог термометра и на тај начин му снижава температуру. Зато се обично каже да влажни термометар показује своју сопствену температуру, која зависи од интензитета испаравања са површине његовог резервоара. Уколико у ваздуху има мање водене паре утолико ће испаравање са влажног термометра бити интензивније, и он ће показивати нижу температуру. Са друге стране, суви термометар показује температуру ваздуха. Према томе, разлика показивања сувог и влажног термометра зависи од влажности ваздуха. Може се показати да притисак водене паре e, садржане у ваздуху, може да се изрази преко температуре сувог t и влажног t_1, термометра тј.

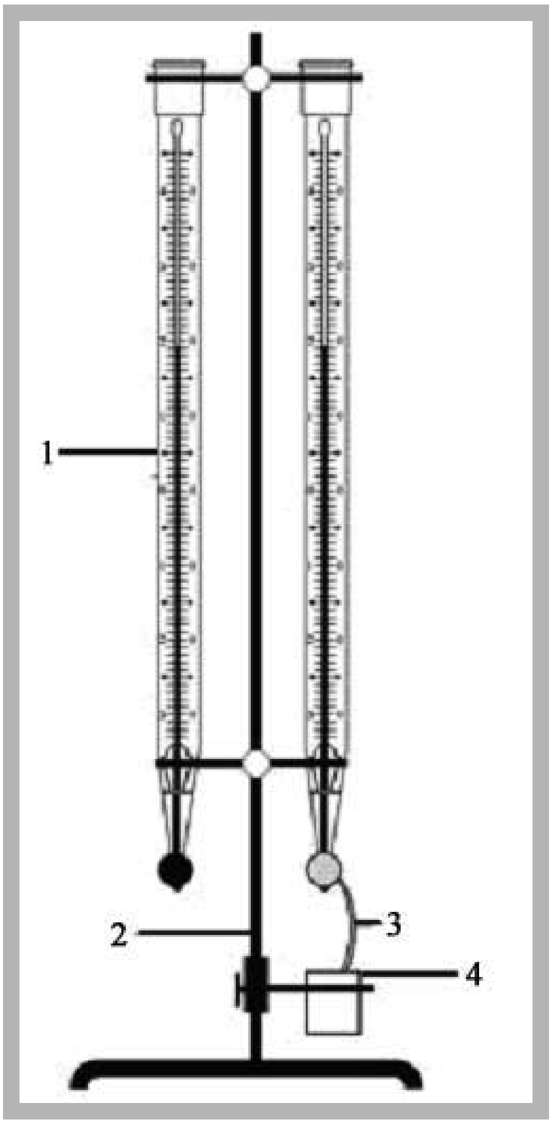
$$e = E_1 - C(t - t_1) \tag{5.6}$$

где је са C означена психрометарска константа. Ова константа зависи од конструкције психрометра и од брзине струјања ваздуха. Формула (5.6) назива се ***психрометарска формула***. У метеоролошкој пракси разлика $t - t_1$ често се назива температурна диференција.

Аугустов психрометар (August) представља најједноставнији тип психрометра. Овај психрометар (сл. 5.1) се састоји од два станична живина термометра (1), која висе на сталку (2) и држе се у метеорололошком заклону. Један од њих је суви а други влажни термометар. Резервоар влажног термометра се стално кваси преко платненог

фитиља (3) чији је крај уроњен у дестиловану воду у чаши (4). Код овог психрометра нема вештачке вентилације тако да његово показивање осетно зависи од брзине ветра иако је, наравно, утицај ветра у заклону знатно мањи него на отвореном простору.

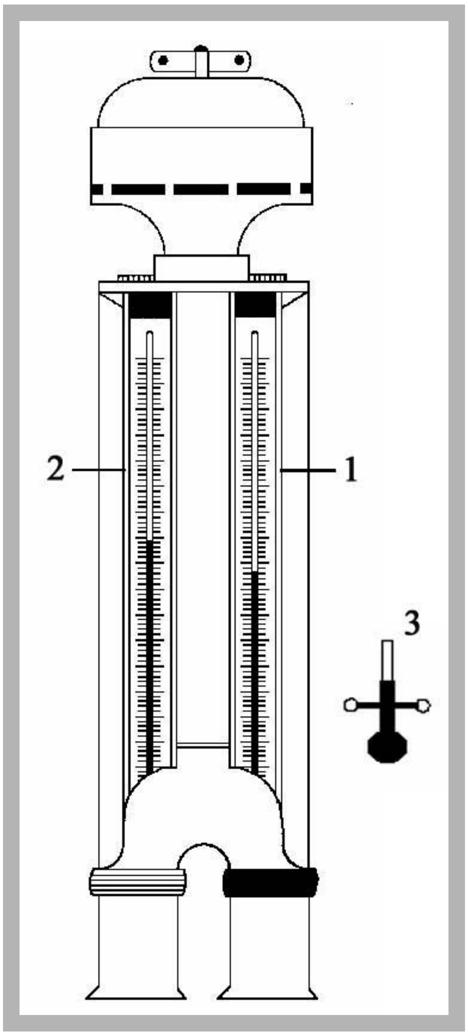
За таблице које се раде за овај тип психрометра, узима се вредност психрометарске константе која одговара брзини ветра од 0,8 $m\ s^{-1}$ јер је то очекивана брзина струјања ваздуха у заклону. Међутим значајна одступања у показивању овог



Слика 5.1 Аугустов психрометар

инструмента могу да наступе уколико брзина ветра пређе неку критичну вредност. У овом практикуму за вредности психрометарске константе узете су вредности $C = 0{,}80\ mb\ ^{o}C^{-1}$ при $t_1 > 0\ ^{o}C$ и $C = 0{,}71\ mb\ ^{o}C^{-1}$ при $t_1 \leq 0\ ^{o}C$.

Најпоузданији подаци с овим психрометром добијају се када је $t_1 > 0$ °C. Уколико је температура влажног термометра нижа од -5 °C мерења овим инструментом или се не обављају или се обављају по нарочитом поступку. Том приликом се квашење фитиља обавља директно, на око пола часа пре почетка мерења.



Слика 5.2 Асманов психрометар

Асманов психрометар (Assmann) је инструмент који се више употребљава у метеоролошкој пракси, потискујући Аугустов психрометар. Асманов психрометар (сл. 5.2) може да буде са механичким или електричним погоном вентилатора. Вентилатор усисава ваздух да би потом одређеном брзином струјао око резервоара термометара (1 и 2). За термомемтре се могу узети живини термометри, термоелементи или отпорни термометри. Код Асмановог психрометра са механичким погоном вентилатора и

живиним термометрима, потребно је квашење влажног термометра и навијање психрометра обавити 15 - 20 минута пре мерења. Квашење се обавља дестилованом водом која се истискује из посебне пипете (3). У осталим комбинацијама, у којима се може реализовати овај инструмент, потребно је обезбедити континуирано квашење влажног термометра. Иначе, струјање ваздуха се може обезбедити и ручним путем (*обртни* и *ракљасти психрометар).*

У овом практикуму, сва израчунавања елемената влажности ваздуха уз коришћење вредности температура очитаних са Асмановог психрометра, обављена су уз коришћење психрометарских константи $C = 0,67\ mb\ ^oC^{-1}$ при $t_1 > 0\ ^oC$ и $C = 0,59\ mb\ ^oC^{-1}$ при $t_1 \leq 0\ ^oC$.

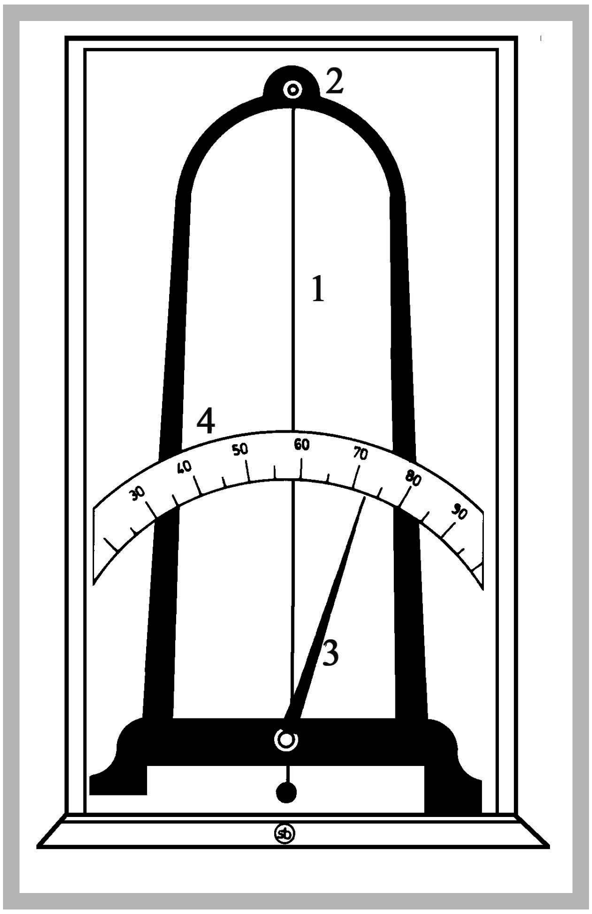
5.3 Одређивање влажности ваздуха помоћу хигрометра

Принцип рада хигрометара се заснива на особини човечје длаке да мења дужину са променом релативне влажности ваздуха. Уколико се, посебним третманом, длака обради и одстране масноћа и пигменти ослободиће се поре у којима може да се кондензује водена пара из ваздуха. Управо ова кондензована водена пара у порама длаке проузрокује промену дужине длаке. До сада није дата теорија која у потпуности објашњава ову појаву. За сада, најпотпуније објашњење, дато је теоријом Срезњевског, а која се заснива на појави површинског напона воде која се налази у порама длаке. Оваквим приступом долази се до једначине која повезује релативну влажност ваздуха са релативном променом дужине длаке Δl, тј.

$$\ln\frac{e}{E} = k\,\sigma\frac{\Delta l}{l} \tag{5.7}$$

где је σ модуо еластичности длаке, k је константа пропорционалности а l дужина длаке пре њене промене. На основу ове једначине види се да је релативно издужење длаке пропорционално са логаритмом релативне влажности ваздуха. Ова претпоставка се добро слаже с мерењима која указују да се при промени релативне влажности ваздуха од 0 до 100 % дужина длаке промени за око 2,5 %.

Копеов хигрометар (Koppeov) се користи за мерење релативне

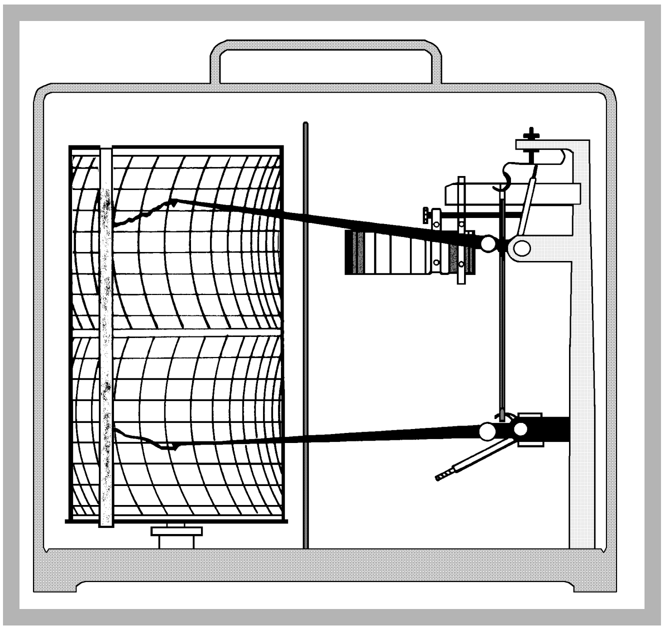


Слика 5.3 Копеов хигрометар

влажности ваздуха (сл. 5.3). Један крај длаке (1) је причвршћен за осовину (2) металног рама док је други крај затегнут на полузи са казаљком (3). Промене релативне влажности се очитавају на лучној скали (4) чија је подела у процентима. Мерења хигрометром су мање тачна него мерења психрометром. Ова два инструмента се заједно постављају у метеоролошки заклон при чему, у зимском периоду, хигрометар има значајнију улогу јер су тада психрометарска мерења мање поуздана или, пак, немогућа.

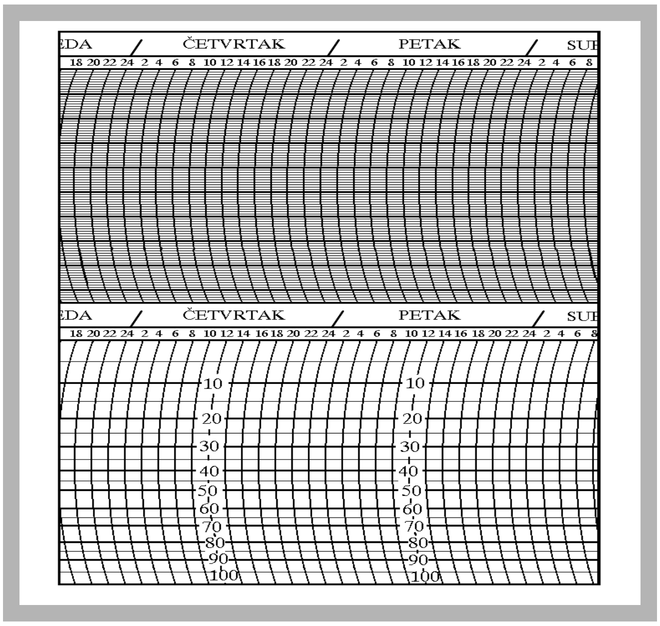
Термохигрограф је инструмент којим се мере и бележе промене температуре и релативне влажности ваздуха (сл. 5.4). Пријемни елемент за регистровање температуре ваздуха је биметални прстен (види поглавље 3.3), док је за регистровање релативне влажности ваздуха пријемни део сноп човечијих длака. Промене температуре и релативне влажности ваздуха се преко писача, чији је врх испуњен

мастилом, преносе на термохигрографску траку (горњу термографску половину и доњу хигрографску половину). Једна таква трака приказана је на слици 5.5.



Слика 5.4 Термохигрограф

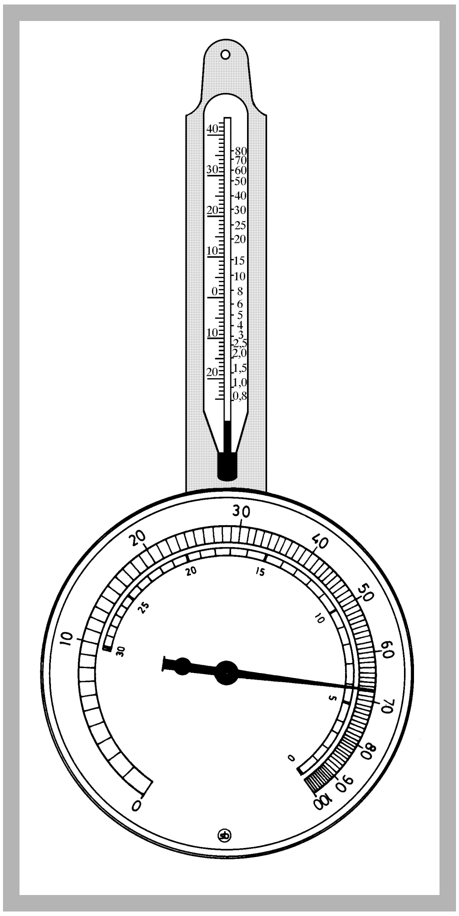
Термохигрограф се поставља у метеоролошки заклон, а регистровање температуре и релативне влажности ваздуха коригује се преко измерених и



Слика 5.5 Термохигрографска трака

израчунатих вредности температура и релативне влажности с психрометра. Термохигрографске траке се мењају једном недељно.

Полиметар је инструмент који се користи за мерење релативне влажности и температуре ваздуха и представља комбинацију хигрометра и термометра. На горњој лучној скали очитавају се вредности релативне влажности ваздуха (сл. 5.6) у процентима, док се вредности температуре ваздуха очитавају на левој скали термометра.



Слика 5.6 Полиметар

Осим ова два елемента влажности ваздуха, полиметром се може одредити максимални притисак водене паре, на десној скали термометра, и температура на скали степенских бројева (доња лучна скала). Температура, очитана на скали степенских бројева, одузета од температуре ваздуха даје тачку росе.

5.4 Израчунавање елемената влажности ваздуха

Задатак 5.1

Са полиметра су очитане вредности релативне влажности ваздуха r = 67,5 %, температуре ваздуха t = 17,3 °C, максималног притиска водене паре E = 19,75 mb и температуре на скали степенских бројева τ = 5,9 mb. Израчунати тачку росе t_d користећи: а) таблични и б) рачунски метод.

Решење:

а) Таблични метод

Користећи једначину (5.3) лако се налази да је

$$e = \frac{r\,E}{100}$$

Заменом одговарајућих вредности добија се да је e = 13,33 mb. Из табеле 5.3 се види да је добијена вредност за e максимални притисак водене паре за температуру од 11,2 °C која представља тражену вредност тачке росе t_d.

б) Рачунски метод

Тачка росе може се одредити и преко израза:

$$t_d = t - \tau$$

или после замене одговарајућих вредности t_d = 11,4 °C .

Задатак 5.2

Са Аугустовог психрометра очитане су температуре сувог t = 17,8 °C и влажног t_1 = 14,4 °C термометра. Користећи Магнусове једначине (рачунски метод) и таблице (таблични метод), израчунати: а) дефиците засићености d и d_1; б) релативну влажност ваздуха r и в) тачку росе.

Решење:

Рачунски метод

Заменом температура сувог t и влажног t_1 термометра и константи α, β и γ из табеле 5.1, у једначине (5.1) и (5.2) добијају се, за максималне притиске водене паре E_1 и E, вредности

$$E_1 = 10^{\left(\frac{7,5\cdot 14,4}{14,4+237.3}+0,786\right)} = 16,41 \text{ mb}$$

$$E = 10^{\left(\frac{7,5\cdot 17,8}{17,8+237.3}+0,786\right)} = 20,39 \text{ mb}$$

Притисак водене паре e се потом израчунава употребом психрометарске формуле (5.6), при чему се за психрометарску константу C узима вредност од 0,80 mb $^{o}C^{-1}$ будући да је $t_1 > 0$ ^{o}C. Заменом одговарајућих вредности у психрометарску формулу добија се да је

$$e = 16,41 - 0,80 \cdot (17,8 - 14,4) = 13,69 \text{ mb}$$

Дефицит засићености се добија из израза (5.4), тј.

$$d = 20,39 - 13,69 = 6,70 \text{ mb}$$

$$d_1 = 16,41 - 13,69 = 2,72 \text{ mb}$$

Релативна влажност ваздуха r добија се преко израза (5.3)

$$r = \frac{13,69}{20,39} \cdot 100\ \% = 67,1\ \%$$

Заменом одговарајућих вредности у једначину (5.5) налази се да је вредност тачке росе t_d:

$$t_d = \frac{237,3 \cdot (\log 13,69 - 0,786)}{7,5 + 0,786 - \log 13,69} = 11,6\ ^{o}C$$

Таблични метод

$t = 17,8$ ^{o}C	табела 5.3	$E = 20,39$ mb
$t_1 = 14,4$ ^{o}C	табела 5.3	$E_1 = 16,41$ mb
$\Delta t = 3,4$ ^{o}C	табела 5.4	$C\cdot\Delta t = 2,72$ mb
$t_1 = 14,4$ ^{o}C	табела 5.2	$E_1 = 16,41$ mb

Треба истаћи да су вредности у табели 5.3 израчунате за вредности психрометарске константе која се употребљава за Аугустов психрометар. То даље значи да ова таблица не може да се употреби за одређивање елемената влажности ваздуха када су температуре сувог и влажног термометра измерене Асмановим психрометром. У том случају, наравно, треба применити рачунски поступак уз употребу одговарајуће психрометарске константе.

5.5 Контролна питања и задаци

1. Који се квантитативни показатељи употребљавају да би се описао садржај водене паре у ваздуху?
2. Како су дефинисани притисак водене паре, апсолутна влажност и специфична влажност ваздуха?
3. Шта су дефицит засићености, тачка росе и однос смеше?
4. Који се елементи влажности израчунавају преко Магнусових једначина?
5. На чему се заснива психрометарски метод одређивања релативне влажности ваздуха?
6. Каква је разлика између Аугустовог и Асмановог психрометра?
7. На ком принципу функционишу хигрометри?
8. Шта се мери полиметром?

Задатак 5.3

Користећи температуре сувог t и влажног t_1 термометра (табела 5.2) израчунати, рачунским и табличним методом: а) дефиците засићености d и d_1; б) релативну влажност ваздуха r и в) тачку росе t_d.

	t	t_1		T	t_1		t	t_1
1.	7,1	3,7	11.	6,4	2,2	21.	12,6	4,7
2.	0,5	-1,2	12.	16,4	8,9	22.	-0,6	-2,2
3.	11,2	7,4	13.	-0,8	-2,7	23.	18,7	13,0
4.	3,1	-0,4	14.	4,1	1,2	24.	17,3	11,5
5.	12,2	7,3	15.	0,2	0,0	25.	12,2	5,3
6.	-0,3	-2,0	16.	7,6	1,7	26.	-2,8	-3,9
7.	17,0	14,4	17.	-2,1	-4,7	27.	29,7	23,0
8.	-1,4	-4,8	18.	11,7	5,5	28.	8,7	4,6
9.	15,6	8,1	19.	13,0	6,2	29.	-1,19	-3,1
10.	0,3	-1,9	20.	18,3	11,9	30.	29,0	24,0

Табела 5.2 Температуре сувог t (°C) и влажног t_1 (°C) термометра измерене Аугустовим психрометром.

температура сувог или влажног термометра										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
-24	0,70	0,69	0,68	0,67	0,67	0,66	0,65	0,65	0,64	0,64
-23	0,77	0,76	0,75	0,74	0,74	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70
-22	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81	0,81	0,80	0,79	0,78	0,77
-21	0,93	0,92	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,86
-20	1,03	1,02	1,01	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,94
-19	1,13	1,12	1,11	1,10	1,09	1,08	1,07	1,06	1,05	1,04
-18	1,24	1,23	1,22	1,21	1,20	1,19	1,18	1,16	1,15	1,14
-17	1,37	1,36	1,34	1,33	1,32	1,30	1,29	1,28	1,27	1,26
-16	1,50	1,49	1,48	1,46	1,45	1,43	1,42	1,41	1,39	1,38
-15	1,65	1,63	1,62	1,60	1,59	1,57	1,56	1,54	1,53	1,52
-14	1,81	1,79	1,78	1,76	1,74	1,73	1,71	1,70	1,68	1,66
-13	1,98	1,96	1,94	1,93	1,91	1,89	1,88	1,86	1,84	1,82
-12	2,17	2,15	2,13	2,11	2,09	2,07	2,05	2,04	2,02	2,00
-11	2,37	2,35	2,33	2,31	2,29	2,27	2,25	2,23	2,21	2,19
-10	2,60	2,57	2,55	2,53	2,50	2,48	2,46	2,44	2,42	2,40
-9	2,84	2,81	2,79	2,76	2,74	2,71	2,69	2,66	2,64	2,62
-8	3,10	3,07	3,04	3,02	2,99	2,96	2,94	2,91	2,89	2,86
-7	3,38	3,35	3,32	3,29	3,26	3,24	3,21	3,18	3,15	3,12
-6	3,68	3,65	3,62	3,59	3,56	3,53	3,50	3,47	3,44	3,41
-5	4,02	3,98	3,95	3,91	3,88	3,85	3,81	3,78	3,75	3,72
-4	4,37	4,34	4,30	4,26	4,23	4,19	4,15	4,12	4,08	4,05
-3	4,76	4,72	4,68	4,64	4,60	4,56	4,52	4,48	4,45	4,41
-2	5,18	5,13	5,09	5,05	5,00	4,96	4,92	4,88	4,84	4,80
-1	5,62	5,58	5,53	5,49	5,44	5,40	5,35	5,31	5,26	5,22
-0	6,11	6,06	6,01	5,96	5,91	5,86	5,81	5,77	5,72	5,67
0	6,11	6,15	6,20	6,24	6,29	6,34	6,38	6,43	6,47	6,52
1	6,57	6,62	6,66	6,71	6,76	6,81	6,86	6,91	6,96	7,01
2	7,06	7,11	7,16	7,21	7,26	7,31	7,37	7,42	7,47	7,53
3	7,58	7,63	7,69	7,74	7,80	7,85	7,91	7,96	8,02	8,08
4	8,13	8,19	8,25	8,31	8,37	8,42	8,48	8,54	8,60	8,66
5	8,72	8,79	8,85	8,91	8,97	9,03	9,10	9,16	9,22	9,29
6	9,35	9,42	9,48	9,55	9,62	9,68	9,75	9,82	9,88	9,95
7	10,02	10,09	10,16	10,23	10,30	10,37	10,44	10,51	10,58	10,66
8	10,73	10,80	10,88	10,95	11,03	11,10	11,18	11,25	11,33	11,41
9	11,48	11,56	11,64	11,72	11,80	11,88	11,96	12,04	12,12	12,20
10	12,28	12,36	12,45	12,53	12,62	12,70	12,78	12,87	12,96	13,04

Табела 5.3 Максималан притисак водене паре E (mb) за различите температуре ваздуха t (^oC)

температура сувог или влажног термометра										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
11	13,13	13,22	13,30	13,39	13,48	13,57	13,66	13,75	13,84	13,94
12	14,03	14,12	14,22	14,31	14,40	14,50	14,59	14,69	14,79	14,88
13	14,98	15,08	15,18	15,28	15,38	15,48	15,58	15,68	15,78	15,89
14	15,99	16,09	16,20	16,30	16,41	16,52	16,62	16,73	16,84	16,95
15	17,06	17,17	17,28	17,39	17,50	17,61	17,73	17,84	17,96	18,07
16	18,19	18,30	18,42	18,54	18,66	18,78	18,90	19,02	19,14	19,26
17	19,38	19,50	19,63	19,75	19,88	20,00	20,13	20,26	20,39	20,51
18	20,64	20,77	20,90	21,04	21,17	21,30	21,44	21,57	21,70	21,84
19	21,98	22,12	22,25	22,39	22,53	22,67	22,81	22,96	23,10	23,24
20	23,29	23,53	23,68	23,82	23,97	24,12	24,27	24,42	24,57	24,72
21	24,88	25,03	25,18	25,34	25,49	25,65	25,81	25,96	26,12	26,28
22	26,44	26,61	26,77	26,93	27,10	27,26	27,43	27,59	27,76	27,93
23	28,10	28,27	28,44	28,61	28,79	28,96	29,14	29,31	29,49	29,67
24	29,84	30,02	30,20	30,39	30,57	30,75	30,94	31,12	31,31	31,50
25	31,68	31,87	32,06	32,25	32,45	32,64	32,83	33,03	33,22	33,42
26	33,62	33,82	34,02	34,22	34,42	34,63	34,83	35,03	35,42	35,45
27	35,66	35,87	36,08	36,29	36,50	36,72	36,93	37,15	37,37	37,59
28	37,81	38,03	38,25	38,47	38,70	38,92	39,15	39,37	39,60	39,83
29	40,06	40,30	40,53	40,76	41,00	41,24	41,47	41,71	41,95	42,20
30	42,44	42,68	42,93	43,17	43,42	43,67	43,92	44,17	44,42	44,68
31	44,93	45,19	45,45	45,71	45,97	46,23	46,49	46,76	47,02	47,29
32	47,56	47,82	48,10	48,37	48,64	48,92	49,19	49,47	49,75	50,03
33	50,31	50,59	50,88	51,16	51,45	51,74	52,03	52,32	52,61	52,90
34	53,20	53,50	53,80	54,10	54,40	54,70	55,00	55,31	55,62	55,92
35	56,24	56,55	56,86	57,18	57,49	57,81	58,13	58,45	58,77	59,09
36	59,42	59,75	60,07	60,40	60,74	61,07	61,40	61,74	62,08	62,42
37	62,76	63,10	63,44	63,79	64,14	64,49	64,84	65,19	65,84	65,90
38	66,26	66,62	66,98	67,34	67,70	68,07	68,44	68,81	69,18	69,55
39	69,92	70,30	70,68	71,06	71,44	71,82	72,21	72,60	72,98	73,38
40	73,77	74,16	74,56	74,95	75,35	75,76	76,16	76,56	76,97	77,38
41	77,79	78,20	78,62	79,03	79,45	79,87	80,29	80,72	81,14	81,57
42	82,00	82,43	82,87	83,30	83,74	84,18	84,62	85,06	85,51	85,96
43	86,41	86,86	87,31	87,77	88,23	88,69	89,15	89,61	90,08	90,53
44	91,02	91,49	91,96	92,44	92,92	93,40	93,88	94,37	94,86	95,35

Табела 5.3 (наставак)

температурна диференција										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
влажни термометар испод 0 °C										
0	0,00	0,07	0,14	0,21	0,28	0,36	0,43	0,50	0,57	0,64
1	0,71	0,78	0,85	0,92	0,99	1,06	1,14	1,21	1,28	1,35
2	1,42	1,49	1,56	1,63	1,70	1,78	1,85	1,92	1,99	2,06
3	2,13	2,20	2,27	2,34	2,41	2,48	2,56	2,63	2,70	2,77
4	2,84	2,91	2,98	3,05	3,12	3,20	3,27	3,34	3,41	3,48
5	3,55	3,62	3,69	3,76	3,83	3,90	3,98	4,05	4,12	4,19
6	4,26	4,33	4,40	4,47	4,54	4,62	4,69	4,76	4,83	4,90
7	4,97	5,04	5,11	5,18	5,25	5,32	5,40	5,47	5,54	5,61
8	5,68	5,75	5,82	5,89	5,96	6,04	6,11	6,18	6,25	6,32
9	6,39	6,46	6,53	6,60	6,67	6,74	6,82	6,89	6,96	7,03
влажни термометар изнад 0 °C										
0	0,00	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,48	0,56	0,64	0,72
1	0,80	0,88	0,96	1,04	1,12	1,20	1,28	1,36	1,44	1,52
2	1,60	1,68	1,76	1,84	1,92	2,00	2,08	2,16	2,24	2,32
3	2,40	2,48	2,56	2,64	2,72	2,80	2,88	2,96	3,04	3,12
4	3,20	3,28	3,36	3,44	3,52	3,60	3,68	3,76	3,84	3,92
5	4,00	4,08	4,16	4,24	4,32	4,40	4,48	4,56	4,64	4,72
6	4,80	4,88	4,96	5,04	5,12	5,20	5,28	5,36	5,44	5,52
7	5,60	5,68	5,76	5,84	5,92	6,00	6,08	6,16	6,24	6,32
8	6,40	6,48	6,56	6,64	6,72	6,80	6,88	6,96	7,04	7,12
9	7,20	7,28	7,36	7,44	7,52	7,60	7,68	7,76	7,84	7,92
10	8,00	8,08	8,16	8,24	8,32	8,40	8,48	8,56	8,64	8,72
11	8,80	8,88	8,96	9,04	9,12	9,20	9,28	9,36	9,44	9,52
12	9,60	9,68	9,76	9,84	9,92	10,00	10,08	10,16	10,24	10,32
13	10,40	10,48	10,56	10,64	10,72	10,80	10,88	10,96	11,04	11,12
14	11,20	11,28	11,36	11,44	11,52	11,60	11,68	11,76	11,84	11,92
15	12,00	12,08	12,16	12,24	12,32	12,40	12,48	12,56	12,64	12,72
16	12,80	12,88	12,96	13,04	13,12	13,20	13,28	13,36	13,44	13,52
17	13,60	13,68	13,76	13,84	13,92	14,00	14,08	14,16	14,24	14,32

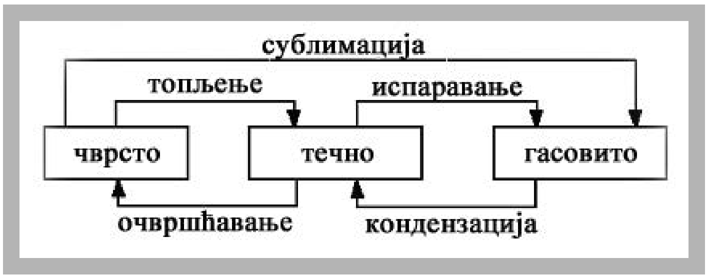
Табела 5.4 Вредности члана C Δt (mb) у психрометарској формули (за Аугустов психрометар) у зависности од температурне диференције (°C)

6

ИСПАРАВАЊЕ

6.1 Општи појмови

Испаравање је прелазак супстанце из течног (или чврстог) агрегатног стања у гасовито, при различитим температурама, уз утрошак топлоте. Процес који је супротан процесу испаравања назива се ***кондензација***. Том приликом, уз ослобађање одређене количине топлоте, долази до преласка супстанце из гасовитог у течно (или чврсто) агрегатно стање. Уколико супстанца прелази директно из чврстог у гасовито стање онда се процес назива ***сублимација.*** На слици 6.1 дат је схематски приказ промена агрегатног стања супстанце и процеса при којима до њих долази.

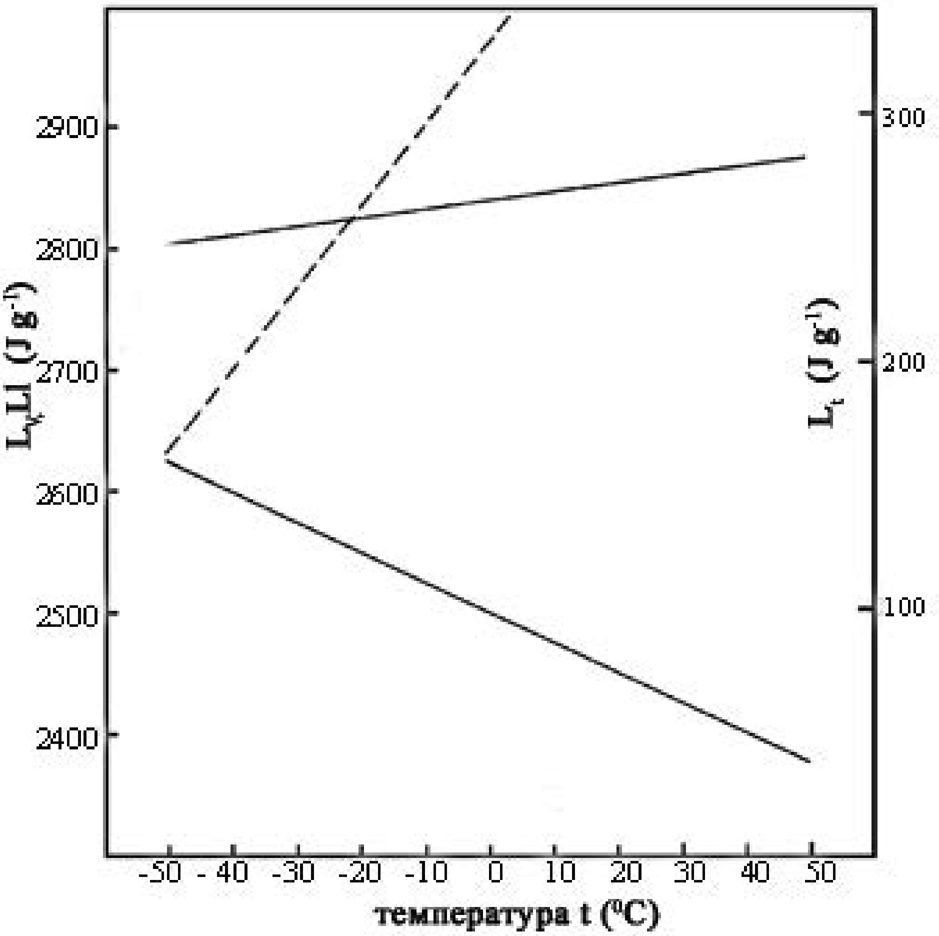


Слика 6.1 Промене агрегатног стања супстанце и процеси при којима до њих долази

Процес испаравања се састоји у томе што се молекули течности одвајају од слободне површине течности и одлазе у слободан простор. Према кинетичкој теорији гасова, температура гаса (или течности) је сразмерна средњој кинетичкој енергији његових молекула. Приликом испаравања од површине течности се одвајају само они молекули који имају највећу брзину, односно кинетичку енергију, и који су због тога у стању да савладају међумолекулске силе. С друге стране, ако течност напуштају молекули са највећом кинетичком енергијом, средња кинетичка енергија преосталих

молекула мора да се смањује, а то значи да се температура течности смањује. Дакле, уколико желимо да температура течности остане непромењена приликом испаравања неопходно је течности доводити топлоту. Према томе, испаравање је процес при коме се троши топлота.

Латентна топлота испаравања представља количину топлоте коју је потребно довести некој течности да би се испарила њена јединична маса, а да се при томе не промени температура остатка течности. На слици 6.2 приказана је зависност латентне топлоте испаравања воде L_V од температуре. На пример, при температури од 100 °C та топлота износи 2261 J g^{-1} док при температури од 0 °C износи 2501 J g^{-1}.



Слика 6.2 Латентна топлота испаравања (кондензације) за различита агрегатна стања воде

Приликом кондензације водене паре ослобађа се иста количина топлоте, као што се троши при испаравању, али сада као латентна топлота кондензације. На слици 6.2 приказана је латентна топлота испаравања (кондензације) при преласку леда у воду L_t и леда у пару L_l при чему важи релација

$$L_l = L_t + L_v \tag{6.1}$$

6.2 Испаравање у природним условима

Испаравање је једна од основних компонената водног и топлотног биланса активне апсорпционе површине са које се врши испаравање. У природним условима активна апсорпциона површина је слободна водена површина, земљиште и вегетација.

Испаравање са било које активне апсорпционе површине зависи у првом реду од количине расположиве топлотне енергије и брзине преношења водене паре из слоја непосредно уз површину која испарава до виших слојева атмосфере. Другим речима, оно зависи од енергије Сунчевог зрачења, брзине ветра и количине влаге у приземном слоју ваздуха.

Испаравање са земљишта, као активне апсорпционе површине, зависи пре свега од његове влажности, односно да ли се испаравање врши са влажног, засићеног или незасићеног земљишта. Испаравање са засићеног земљишта, слично као и испаравање са слободне водене површине, континуиран је процес и зависи примарно од евапорационе моћи приземног слоја ваздуха. Испаравање са незасићеног земљишта зависи поред тога и од количине влаге, као и дубине подземних вода и физичких и хемијских особина земљишта.

Зависно од тога да ли је реч о засићеној или незасићеној средини, разликују се потенцијално и стварно испаравање.

Потенцијално испаравање је максимална количина воде која би могла да испари при одређеним временским условима. Ова дефиниција се односи на водену површину али и на друге активне површине, под условом да има довољно влаге. Наиме, потенцијално испаравање са голог земљишта потпуно засићеног влагом (пољски водни капацитет), затим с оптимално влажне, компактне травне површине и с водене површине практично се подударају.

Стварно испаравање је количина воде која испарава у постојећим условима и у првом реду зависи од количине влаге у земљишту.

Транспирација је физиолошки процес испаравања воде с површине листа, стабљике и других биљних делова. Транспирација зависи, као и испаравање са других активних површина, од метеоролошких фактора као што су Сунчево зрачење, температура, влажност ваздуха и брзина ветра. Међутим, траспирација зависи и од физиолошких особина биљке, фазе развића, развијености кореновог система, броја и распореда стома.

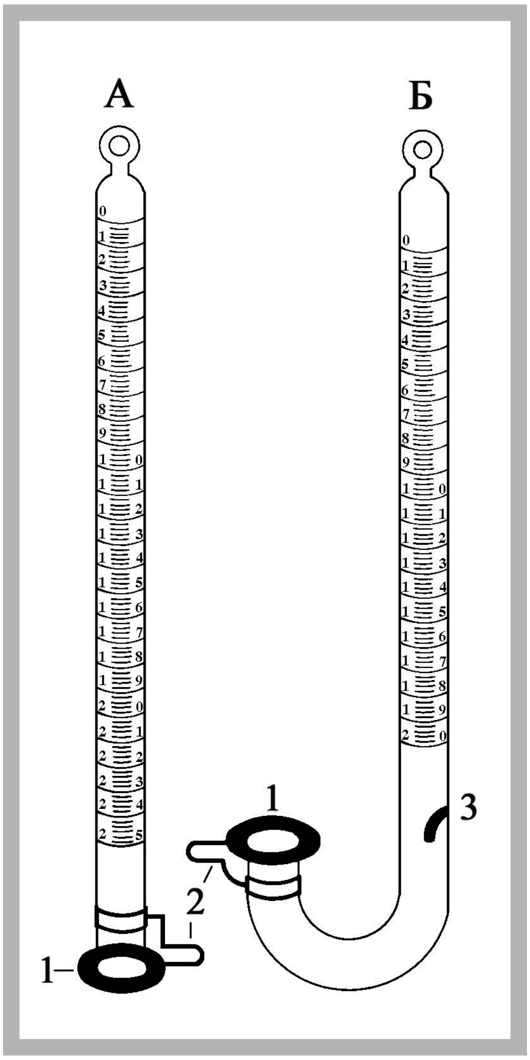
Евапотранспирација је истовремено испаравање и са земљишта и са биљака. Евапотранспирација зависи од свих фактора спољне средине од којих зависи испаравање и са земљишта и са биљака, а поред тога и од биолошких особина биљке и фазе развића. ***Стварна евапотранспирација*** је количина испарене воде са земљишта и са биљака у постојећим временским условима и условима влажности земљишта. ***Потенцијална евапотранспирација*** је максимална количина воде која, при постојећим временским условима, испари са земљишта потпуно прекривеног вегетацијом, када у земљишту нема дефицита воде.

6.3 Мерење испаравања

Егзактна мерења испаравања са било које активне површине су доста сложена и нису решена на задовољавајући начин. Инструменти који се користе за мерење испаравања називају се ***испаритељи***. Данас у свету постоји велики број разних типова испаритеља, од којих велики број даје задовољавајуће резултате само у условима за које су конструисани.

Пишеов испаритељ (Picheov) функционише на принципу мерења запремине испарене воде. То је једна стаклена цев дужине 30 cm и унутрашњег пречника од 1 cm (сл. 6.3). На цеви се налази скала с милиметарском поделом или поделом на кубне центиметре. Горњи крај цеви је затворен и има отвор за вешање. Цев се напуни дестилованом водом, тако да вода досегне до нултог подеока, да би се, потом, доњи крај затворио котурићем упијајуће хартије (1). Хартију задржава метални држач (2) чији један крај, у виду прстена, тачно належе на отвор. Пишеов испаритељ, припремљен на овај начин, држи се у метеоролошком заклону, обешен поред психрометра, тако да стоји у истим физичким условима као и психрометар. За разлику од старог типа (А), нови тип Пишеовог испаритеља (Б) има савијену стаклену цев и веома узан отвор (3) за пролажење ваздуха. Наиме, уласком ваздуха у простор изнад воде обезбеђује се нормално испаравање што није случај код старијег типа испаритеља.

Пишеов испаритељ се може употребити и ван заклона, на пример при микрометеоролошким мерењима, али само у време када нема падавина. У време када прети опасност од мраза овај испаритељ се не употребљава.

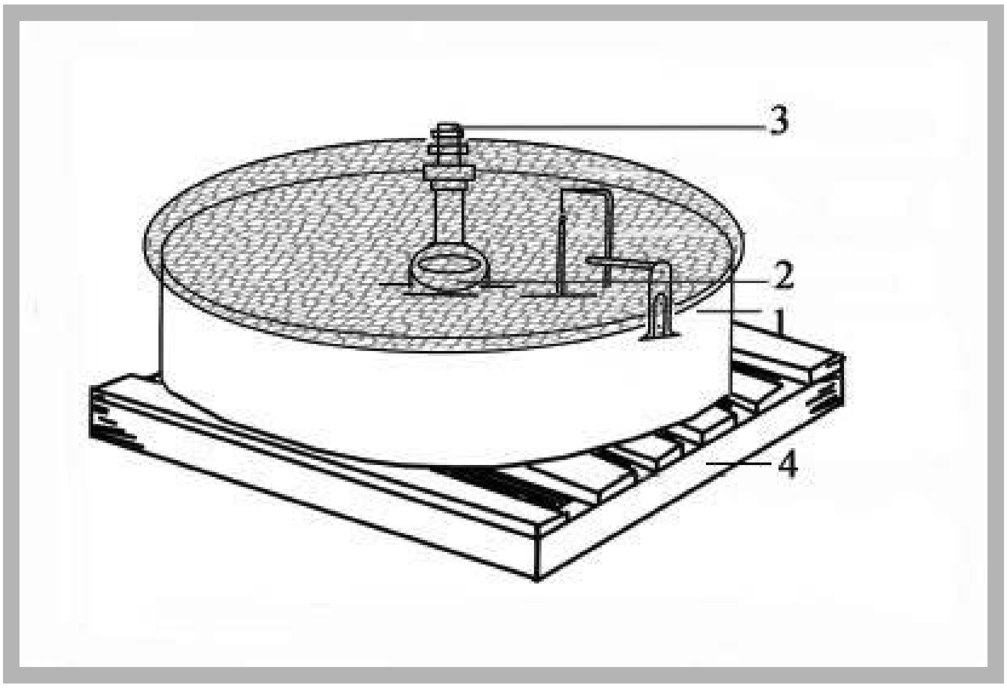


Слика 6.3 Пишеов испаритељ

Осматрање испаравања пишеовим испаритељем се састоји у очитавању висине воде у стакленој цеви. Осматрања се обављају у 0700 и 2100 час по Месном времену. Разлика вредности између нађеног стања у 2100 час и 0700 часова представља дневну суму испаравања док разлика вредности између стања у 0700 часова ујутру и 2100 час, предходног дана, представља суму испаравања у току ноћи.

Испаритељ класе А служи за мерење испаравања са слободне водене површине, а измерена вредност, под одређеним условима, може да се односи и на потенцијално испаравање са земљишта и на потенцијалну евапотранспирацију.

Испаритељ се састоји (сл. 6.4) из суда за испаравање (1), коморе за умирење воде (2), микрометарског завртња (3) и постоља за смештај испаритеља (4). Суд испаритеља је цилиндар пречника 120 cm и висине 25 cm, који је направљен од поцинкованог лима. Комора за умирење воде је један месингани цилиндар (сл. 6.5)

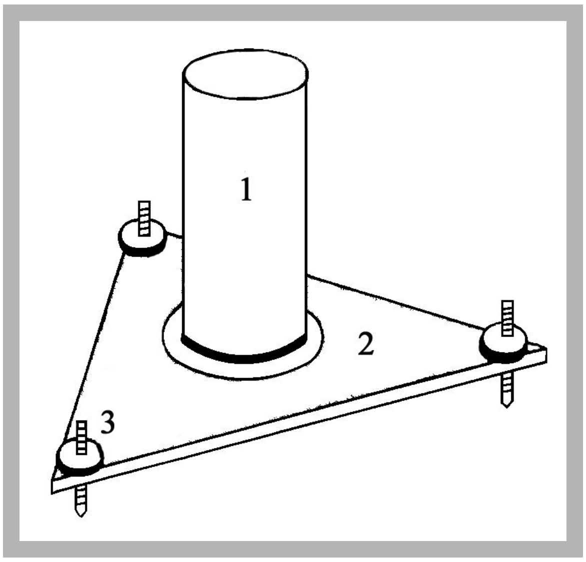


Слика 6.4 Испаритељ класе А

висине 20 cm и пречника 9 cm (1), који се налази на троугластом месинганом постољу (2) које у средини има мали отвор. У угловима постоља налазе се завртњеви (3), којима се горња ивица коморе доводи у хоризонталан положај. Комора и њено постоље су хромирани или пониклованi. Комора за умирење се поставља у близини северне стране суда испаритеља.

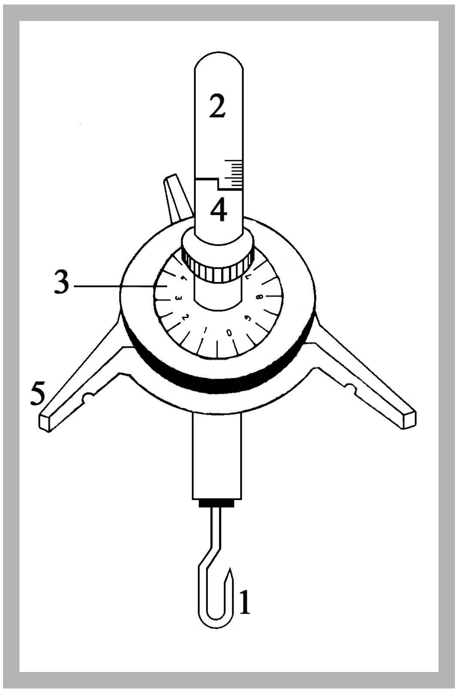
Микрометарски завртањ (сл. 6.6) састоји се из: куке (1), вертикалног држача куке с милиметарском поделом (2), завртња, са нонијусном скалом, за померање куке (3), дела са центиметарском поделом (4) и трокраког носача (5) који се поставља на ивицу коморе за умирење воде. Ниво воде у суду испаритеља треба да се одржава на нивоу од 5 цм испод ивице суда. Доливање и одливање воде обавља се у јутарњем термину, одмах по мерењу.

Очитавање испаритеља класе А се обавља у 0700 и 1900 часова по СЕВ-у. Поступак мерења се састоји у томе да се микрометарски завртањ постави на горњу ивицу коморе за умирење да се кука потпуно потопи у воду. Завртањ се окреће на самој површини воде. Потом се уређај скине и очита се висина испарене воде. Поступак мерења се обавља три пута у термину мерења, да би се потом за очитану вредност узела средња вредност из три мерења.



Слика 6.5 Комора за умирење воде

Осим мерења испаравања, у термину осматрања, мере се и температура на површини воде у 0700, 1400 и 2100 час по СЕВ-у, као и средња брзина ветра између два термина осматрања висине испарене воде.



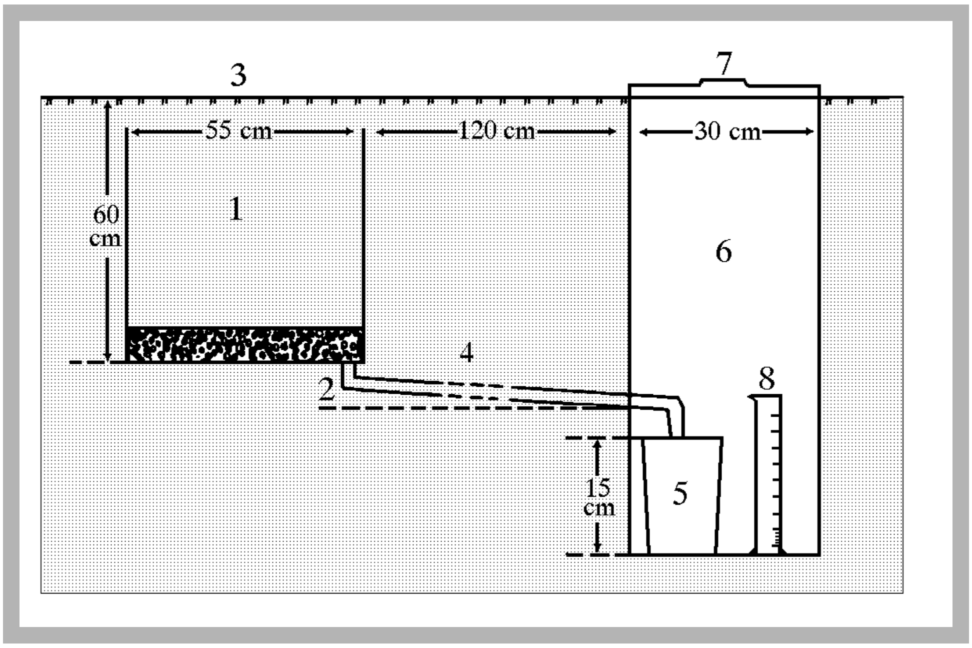
Слика 6.6 Микрометарски завртањ

У крајевима где зиме нису много хладне испаритељ класе А се оставља напољу и мерења се редовно обављају, наравно, изузимајући термине када је вода залеђена. У осталим крајевима период мерења траје од 1. априла до 30. септембра.

Међу многобројним типовима испаритеља, Светска метеоролошка организација сматра да за потребе анализе највећу пажњу заслужују амерички испаритељ класе А, постављен изнад земље, совјетски испаритељ ГГИ-3000 и испаритељски базени величине 20 m^2, укопани у земљу.

У оквиру хидрометеоролошке службе наше земље у употреби је испаритељ класе А.

Гарниеов испаритељ (Garnier). У нашој земљи се на агрометеоролошким



Слика 6.7 Гарниеов испаритељ

станицама за добијање потенцијалног испаравања са голог земљишта, користи Гарниеров испаритељ (сл. 6.7). Овај инструмент је доста једноставне конструкције. Састоји се из једног металног цилиндричног суда (1) чија је висина око 60 cm а пречник 55 cm. Цилиндрични суд је с једне стране потпуно отворен, а са друге стране на дну има округао отвор (2). Цилиндар се закопа у земљу тако да је његов отвор (3) раван са земљином површином. Од округлог отвора (2) води једна галванизована цев (4) до суда (5) који се налази у бетонираној комори (6). Ова цев је благо нагнута да би кроз њу вода што лакше отицала. Комора (6) је нешто дубља него цилиндрични суд (1). С горње стране комора је покривена металним поклопцем (7) који спречава продирање падавина у суд (5). Цилиндрични суд (1) на дну има слој шљунка дебљине 7,5 cm док је остатак простора напуњен земљом исте врсте као што је околно земљиште.

Пре почетка употребе овог испаритеља потребно је да се земљиште у испаритељу засити до пољског водног капацитета. То се постиже наливањем воде у цилиндрични суд (1) до оног тренутка док вода не почне да капље у суд (5). Да би се спречило продирање честица шљунка кроз цев (4) на отвор (2) се поставља бакарна мрежа.

Очитавање се обавља сваког дана у 1900 часова по СЕВ-у на тај начин што се помоћу мензуре (8) измери количина воде Z, која се током двадесет четири часа процедила у суд (5). Количина процеђене воде се изражава или у mm или у cm^3. По обављеном мерењу у цилиндрични суд се налије нова количина воде Q којом се земљиште у испаритељу засити до пољског водног капацитета. Процеђена вода из посуде (5) се не просипа, већ се опет користи при доливању у цилиндрични суд да би се спречио губитак минералних материја из земљишта.

Потенцијално испаравање E_p у mm се онда израчунава преко израза

$$E_p = R + Q - Z \tag{6.2}$$

где је R количина падавина у mm.

6.4 Контролна питања

1. Шта је испаравање?
2. Шта је кондензација, а шта сублимација?
3. Дефинисати латентну топлоту испаравања (кондензације).
4. Од којих фактора зависи испаравање у природним условима?
5. Шта је потенцијално, а шта стварно испаравање?
6. Шта је транспирација?
7. Шта је евапотранспирација?
8. Дефинисати стварну и потенцијалну евапотранспирацију.
9. Шта су испаритељи?
10. Описати Пишеов испаритељ.
11. Описати испаритељ класе А.
12. Описати Гарниеров испаритељ.

7

ОБЛАЦИ

7.1 Опште напомене

Осматрању облака се у метеорологији увек посвећивала велика пажња. Међутим, егзактност методских поступака за осматрање облака није увек пратила и степен интересовања за резултате тих осматрања. Тек у скорије време степен егзактности осматрања облака се повећава тако да се с већом поузданошћу може сагледати и њихов допринос временским променама, билансу зрачења, размени топлоте између Земље и свемирског простора итд.

За потребе метеоролошке службе и привреде, осматрање облака обухвата:

1) одређивање врсте (распознавање) облака;
2) одређивање смера и брзине кретања облака;
3) оцену облачности (количине облака);
4) оцену густине облака и
5) мерење или оцену висине облака.

У овој глави неће бити разматрано одређивање врсте облака. Врсте облака се приказују у посебним атласима облака.

7.2 Одређивање смера и брзине облака

Смер кретања облака је смер одакле облаци долазе. Код ниских облака смер кретања је могуће одредити и визуелно. Међутим, када су у питању високи облаци онда њихов смер није могуће одредити без употребе ***Бесонових грабљи*** (Besson) или ***огледала за облаке*** (нефоскопа).

Помоћу ова два инструмента одређује се и релативна брзина облака. На пример, брзина кретања облака помоћу Бесонових грабљи одређује се на основу

броја зубаца n на грабљама које облак, чија је висина H, пређе за време t, тј.

$$V = \frac{n\,H}{10\,t} \tag{7.1}$$

С обзиром да је висина облака обично непозната осматрачу на метеоролошкој станици, то се за висину H узима 1000 m. Тиме се не израчунава стварна брзина, већ брзина кретања пројекције на ниво од 1000 m. У том случају једначина (7.1) постаје

$$V_{1000} = \frac{1000\,n}{t} \tag{7.2}$$

7.3 Облачност

Под појмом ***облачност*** (количина облака) подразумева се степен наоблачења или покривености облацима, тј. величина облачног покривача у односу на цело небо, онако како то види осматрач са земље. Приликом процене степена облачности разликују се укупна и делимична облачност. ***Укупна облачност*** представља величину покривености неба од стране свих облака заједно док се ***делимична облачност*** односи на величину покривености неба од само једне врсте облака или једног облачног слоја.

Облачност се изражава и бележи у целим бројевима од 0 до 10. Облачност 0 значи да је небо потпуно ведро, без и најмањег трага облака. Са 1 се обележава и најмањи траг облака па до количине која одговара покривености до 1/10 неба. Облачност 2-8 означава покривеност небеског свода у десетинама, тј. 2/10 - 8/10. Са 9 се означава да је 9/10 или више, али не потпуно, небеског свода покривено облацима. Облачност 10 значи да је небо у потпуности покривено облацима и да не постоји ни најмањи отвор кроз који се види небески свод.

За потребе метеоролошке службе и међународну размену метеоролошких података, облачност се изражава у осминама (октима), тј. целим бројевима од 0 до 8. При оваквом начину изражавања облачности, 0 означава потпуно ведро небо а 8 потпуно покривено небо. У табели 7.1 приказан је однос између ова два начина изражавања облачности.

облачност у десетинама	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
облачност у осминама	0	1	2	2	3	4	5	6	6	7	8

Табела 7.1 Однос облачности изражен у десетинама и осминама

При оцени облачности густина облака се не узима у обзир, већ само површина неба коју они покривају.

7.4 Оцена густине и мерење висине облака

Г***устина облака*** описује степен прозрачности облака. Она зависи како од дебљине тако и од састава облака. Оцена густине облака врши се визуелним путем при чему се процењује да ли је облак: танак, умерене дебљине или врло дебео што се бележи бројевима 0, 1 и 2, редом. При неједнакој дебљини облака увек се усваја она вредност која одговара дебљини већине облака на небу, без обзира на њихову врсту.

Под ***висином облака*** се подразумева растојање од земљине површине до доње базе облака, изражено у метрима.

Одређивање висине облака обавља се коришћењем:

1) пилот балона;
2) пројектора;
3) телеметара,

или путем визуелне процене.

Пилот балони. Доња граница облака може да се одреди помоћу пилот балона. То су балони који су испуњени водоником и имају тежину 5 - 30 g.

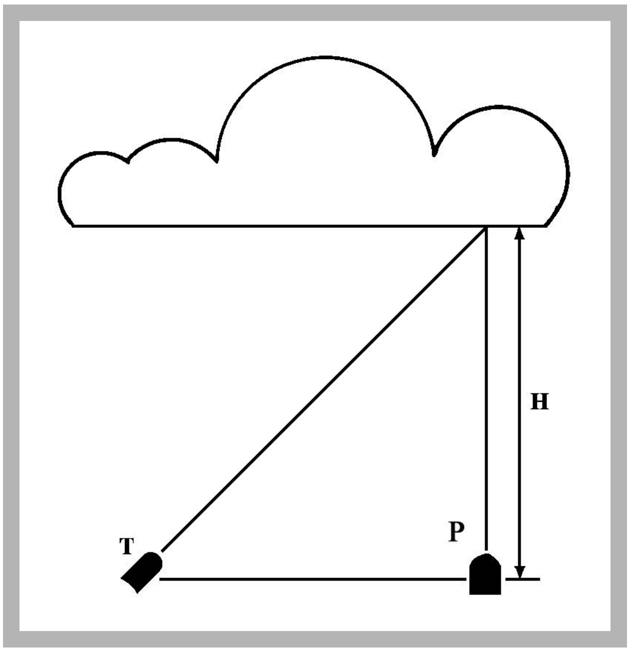
Поступак мерења се састоји у томе да се балон слободно пусти у атмосферу а потом прати преко теодолита или догледа и одређује време τ, које му је потребно да се уздигне и зађе у облаке; затим се висина облака H (m) одређује преко израза

$$H = w\,\tau \tag{7.3}$$

где је w брзина ($m\ s^{-1}$) пењања балона која се одређује из посебних таблица. При

ноћним мерењима на пилот балон се ставља електрична лампа.

Пројектори. Мерење висине облака помоћу пројектора обавља се углавном ноћу. Овај поступак, схематски је приказан на слици 7.1. Ако се у тачки Р налази рефлектор, уз претпоставку да његови зраци с хоризонтом заклапају прав угао, из тачке Т ***теодолитом*** се може одредити положај светле мрље на бази облака. Мерење се састоји у одређивању угла α будући да је растојање између рефлектора



Слика 7.1 Мерење висине облака

и теодолита увек 300 m. Висина облака се тада израчунава преко израза

$$H = 300\mathrm{tg}\alpha \tag{7.4}$$

Телеметри. На метеоролошким станицама које се налазе на аеродромима и служе за метеоролошко обезбеђење ваздушног саобраћаја, висина облака се мери помоћу електронских уређаја - телеметара.

Визуелна процена је поступак којим се одређује висина облака када на располагању нема инструмената којим би се оцена висине облака обавила на егзактнији начин. Визуелним путем висину облака могу оцењивати само искусни осматрачи.

7.5 Контролна питања

1. Шта обухвата осматрање облака?
2. Шта је смер кретања облака, а шта брзина кретања облака?
3. Како се одређује смер и брзина кретања облака?
4. Како се изражава облачност?
5. Како се оцењује густина облака?
6. Шта је висина облака и како се она мери?

8

ПАДАВИНЕ

8.1 Општи појмови

Падавине су продукти водене паре, у чврстом и течном агрегатном стању, у атмосферском ваздуху који падају на земљину површину или се формирају при Земљиној површини.

Падавине, као метеоролошки елемент, имају следеће карактеристике: облик, трајање, количину и интензитет.

Облик падавина је одређен различитим формама течне и чврсте фазе воде. Облици у којима се могу појављивати падавине су: росуља, киша, снег, суснежица, град, роса, слана, иње и поледица.

Трајање падавина је временски интервал од почетка па до завршетка падавина.

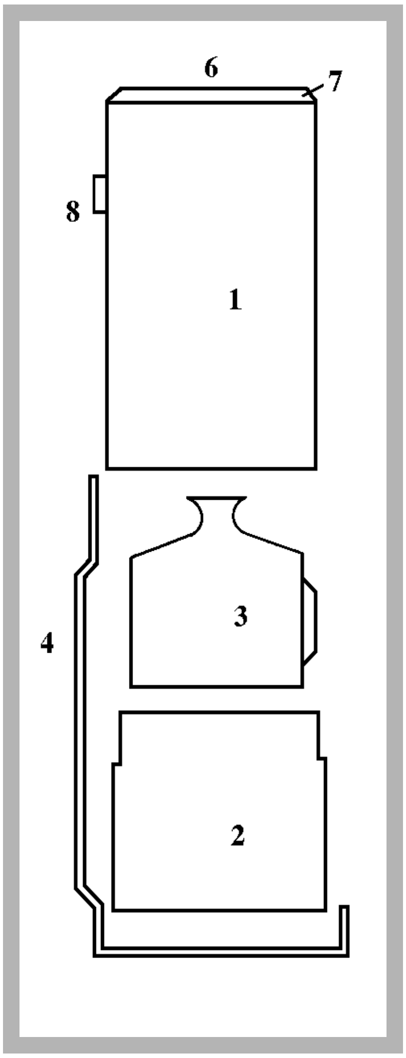
Количина падавина је запремина воде од падавина, на јединичној површини (1 m^2) изражена у литрима. Количина падавина се изражава и у милиметрима, при чему запремини од 1 литра одговара висина од 1 mm.

Интензитет падавина је количина падавина у јединици времена. Обично се за јединицу времена узима 1 час или 1 минут.

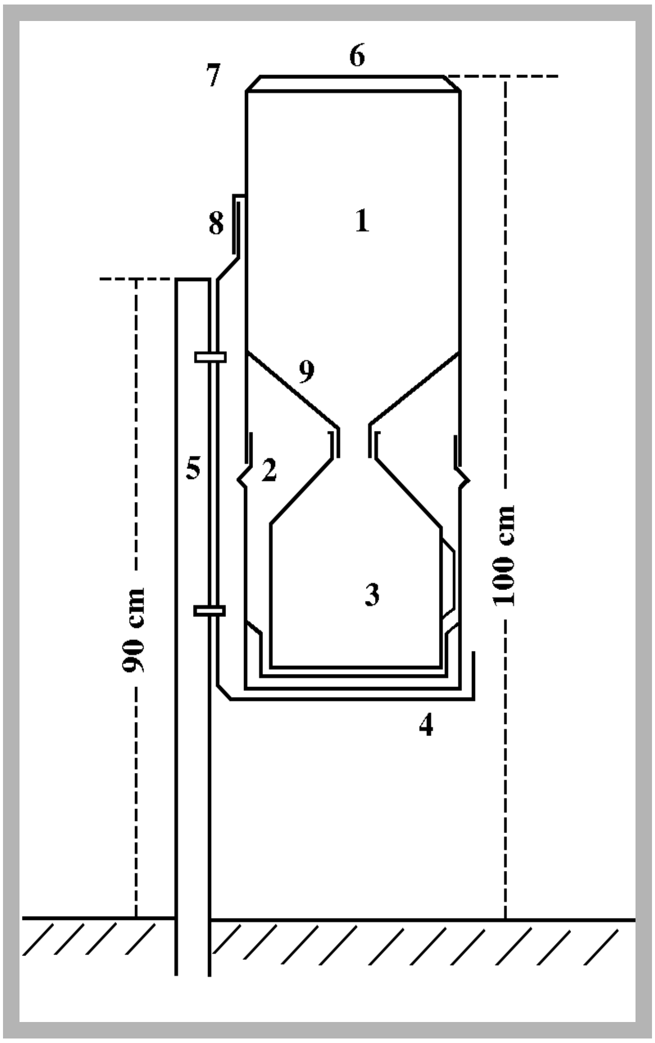
8.2 Мерење падавина

На метеоролошким станицама обавља се осматрање свих врста падавина. Осматрачи одређују визуелно облик падавина док се количина падавина мери одговарајућим инструментом. Интензитет и време трајања се могу, пак, одређивати визуелно и инструменталним путем.

Кишомер се користи за мерење количине падавина. У употреби, у нашој метеоролошкој служби, је углавном ***Хелманов кишомер*** (Helmann). Саставни делови кишомера приказани су на сликама 8.1, 8.2 и 8.3. То су: горњи суд за пријем падавина



Слика 8.1 Делови кишомера

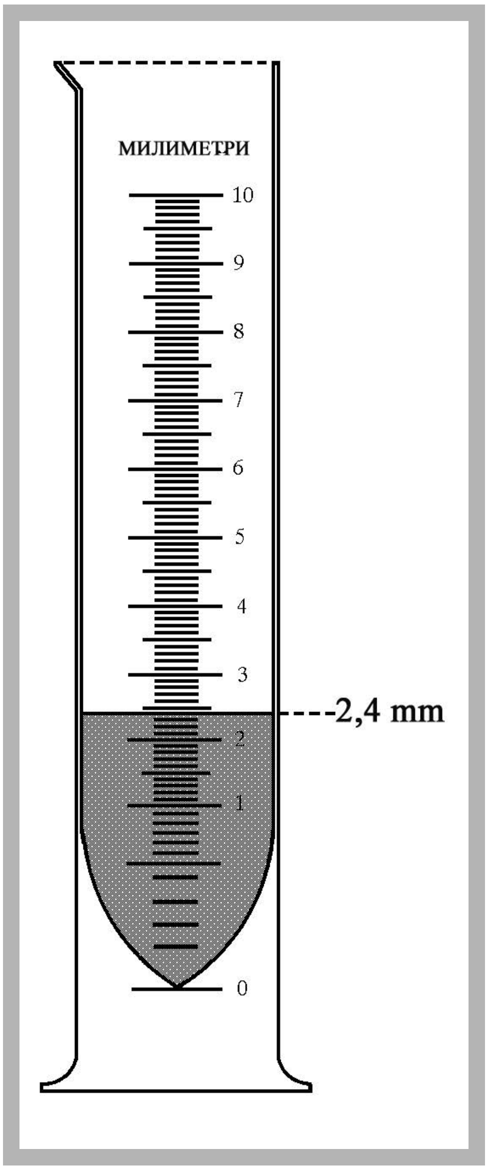


Слика 8.2 Пресек кишомера на стубу

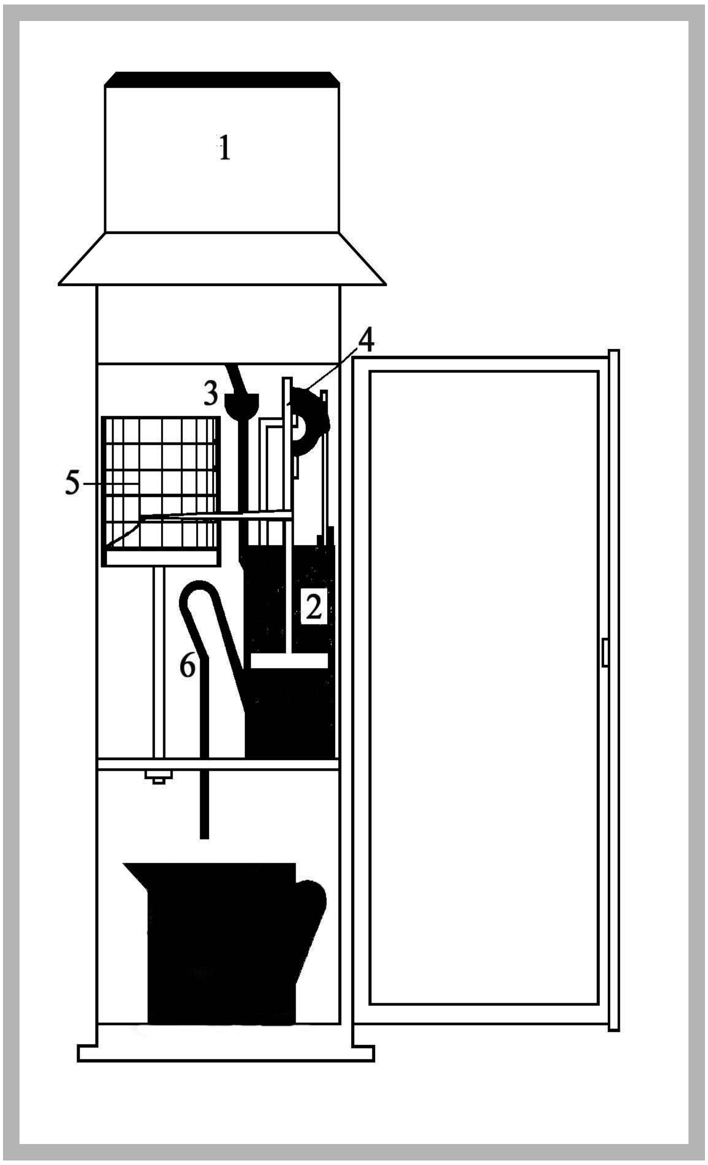
(1), доњи суд (2) са кантицом за скупљање падавина (3), гвоздени носач (4), дрвени стуб (5) и мензура (сл. 8.3). Горњи суд има отвор (6) који је омеђен оштром ивицом (7). Пречник отвора суда је 159,6 mm а површина 200 cm^2. При дну унутрашње стране суда (1) причвршћен је левак (9) кроз који се вода од падавина слива у кантицу (3). Доњи суд (2) има равно дно са причвршћеним лежиштем на коме стоји кантица (3). Главни носач (4) је у виду водоравног крста на коме стоји дно кишомера. Један његов крак је савијен према горе под углом од 90^{o}. Овај крај је причвршћен за стуб. На горњи крај

носача навлачи се ушица (8). Кишомер се поставља тако да слободни крај стуба буде окренут у правцу географског југа.

На главним метеоролошким станицама мерење количине падавина врши се у 0100, 0700, 1300 и 1900 часова по СЕВ-у. Ванредна мерења се обављају у 1900 часова по СЕВ-у и после сваког јачег пљуска кише или снега, при чему ванредна мерења не искључују редовна мерења. При мерењима количине воде од снега потребно је предходно унети горњи део кишомера у метеоролошку станицу и сачекати да се снег отопи, а потом обавити мерења као и при мерењу количине воде од кише.



Слика 8.3 Мензура



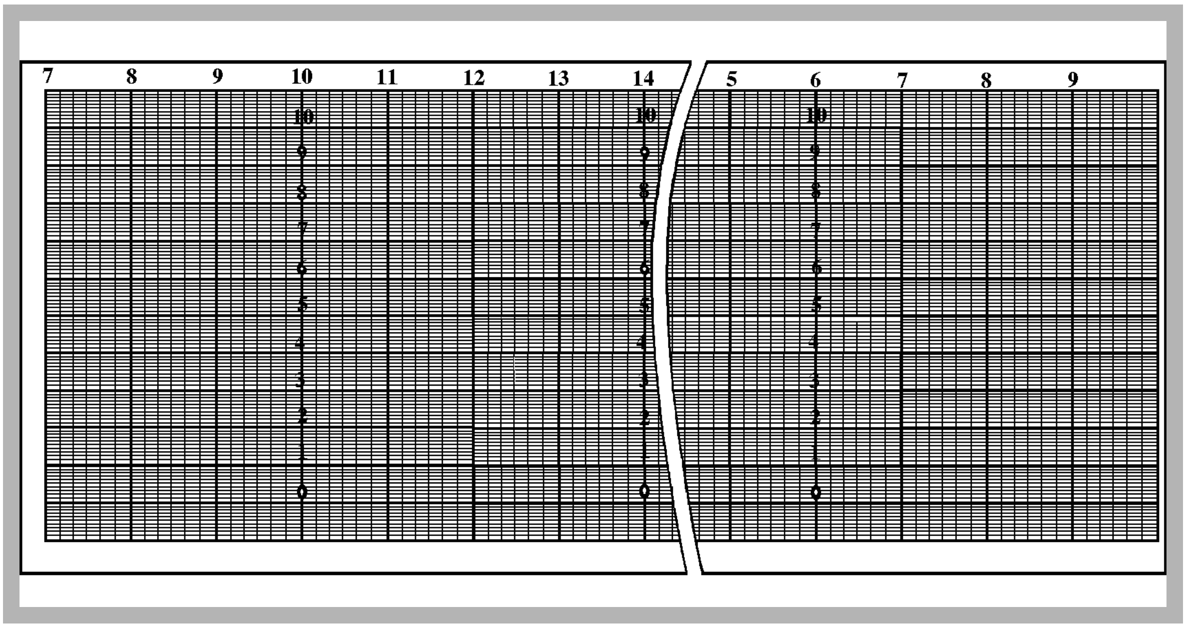
Слика 8.4 Плувиограф

Мерење количине падавина обавља се помоћу мензуре (сл. 8.3) чија је површина попречног пресека подешена према површини попречног пресека отвора кишомера. На мензури је урезана скала која одговара милиметрима и десетим деловима милиметра висине воде од падавина. Дно мензуре је с унутрашње стране заобљено, што омогућава прецизније мерење количина падавина мањих од 0,5 mm. При очитавању мензуре треба водити рачуна да око буде тачно у висини површине воде, јер у супротном може да дође до грешке приликом очитавања.

Плувиограф. За одређивање времена почетка и свршетка падања, као и јачине и количине падавина користи се плувиограф. У нашој метеоролошкој служби у употреби је ***Хелманов плувиограф***.

Хелманов плувиограф (сл. 8.4) састоји се од: заштитног оклопа са отвором на врху кроз који улазе падавине (1), ваљкастог суда са пловком (2), доводне цеви (3), преносне шипке са пером (4), ваљка са сатним механизмом (5), одводне цеви (крива натега) (6) и суда за прикупљање воде (7).

Приликом регистровања падавина плувиографом падавине улазе у инструмент кроз отвор (1) чија је површина попречног пресека као и код кишомера - 200 cm^2. Вода од падавина слива се кроз доводну цев (3) и ваљкасти суд (2) и подиже левак у њему. На пловку је причвршћена, усправно, преносна шипка (4), која преноси покрете пловка на перо. Перо бележи на траци количину падавина. Трака се налази



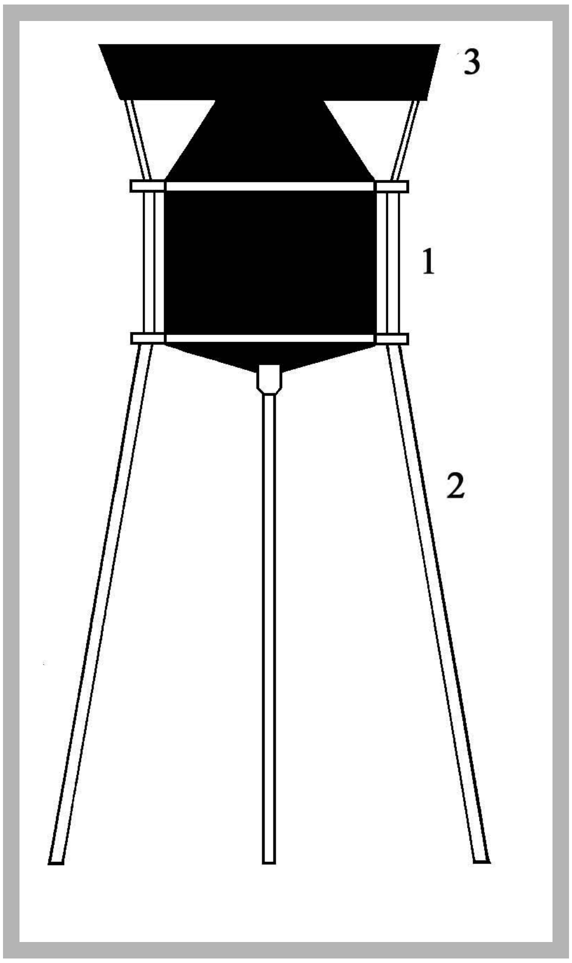
Слика 8.5 Плувиографска трака

причвршћена на ваљку са сатним механизмом (5) који се обрне у круг за један дан. Када ниво воде у цилиндру досегне до висине 10 mm, садржај ваљкастог суда с пловком се преко криве натеге (6) излије у лонац за прикупљање воде (7). Тренутак пражњења ваљкастог суда (2), на плувиографској траци је обележен вертикалном линијом.

Плувиограф се поставља у кругу метеоролошке станице тако да површина његовог отвора буде у нивоу с површином отвора кишомера. У кругу метеоролошке станице поставља се 31. марта а уклања 1. новембра. Замена плувиографске траке (сл. 8.5) обавља се сваког дана у 0700 часова по СЕВ-у када се измери висина воде од падавина помоћу мензуре. Са плувиографске траке може се очитати време почетка и свршетка падавина (трајање падавина).

Тотализатор је кишомер који се поставља у неприступачним крајевима где нису могућа непрекидна осматрања.

Тотализатор (сл. 8.6) се састоји од: суда за хватање падавина (1), ногара (2) и



Слика 8.6 Тотализатор

ветробрана (3). Ови кишомери се постављају на висини од 3 m да би се спречило њихово оштећење. Ради топљења падавина у чврстом стању и спречавања замрзавања оних у течном стању, у зимско доба године у тотализатор се ставља раствор од 4 kg печеног калцијума хлорида $CaCl_2$ и 7 l воде што снижава тачку мржњења добијеног раствора до -40 ^oC. Како би се спречило испаравање прикупљене воде у тотализатор се ставља, за зимско раздобље 0,6 kg, а за летње 1 kg техничког вазелинског уља специфичне тежине од 800 $kg\ m^{-3}$. Очитавање тотализатора се обавља два пута годишње и то у пролеће и јесен.

8.3 Мерење снежних падавина

Приликом снежних падавина углавном се мере висине и густине снежног покривача, а потом се одређује садржај воде у њему.

Мерење висине снежног покривача. За мерење висине снежног покривача у употреби су две врсте ***снегомера***: стални и покретни. У оба случаја место на коме се мери висина снежног покривача се не мења.

Стални снегомер се користи за редовна мерења висине снежног покривача на станицама на којима је падање снега редовна појава. ***Покретни снегомер*** се употребљава за мерење висине снежног покривача на станицама које се налазе у подручјима где је падање снега ретка појава, а изузетно и на станицама где је снежни покривач редовна појава. Поред тога покретни снегомер се користи и за ванредна мерења висине снежних наноса.

Висина снежног покривача, по правилу, треба да се мери изван круга метеоролошке станице, изузетно, мерења се могу обављати унутар круга метеоролошке станице. Место изван круга метеоролошке станице , на ком се обавља мерење висине снежног покривача, треба да је приближно величине $20\,m \times 20\,m$, да није у сенци, да је покривено травом и да није превише изложено ветровима због наношења или одношења снега.

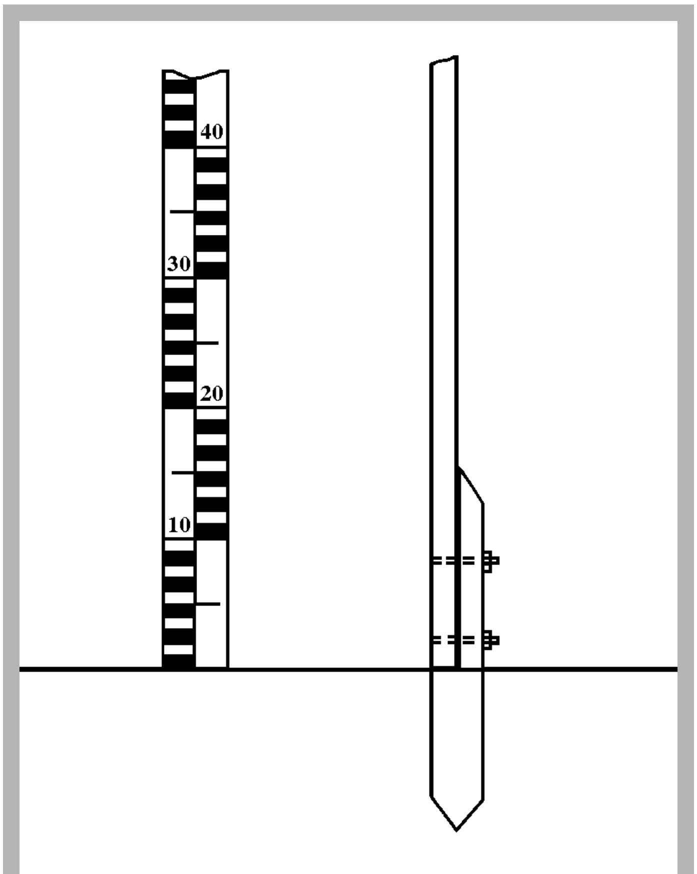
На овако изабраном месту треба поставити три стална снегомера приближно у теменима једнакостраничног троугла. Растојање од једног до другог снегомера треба да буде најмање 10 m. Снегомере треба нумерисати и из године у годину сталне

снегомере задржавати на истом месту, или пак, покретне стављати на исто место у сагласности с обележавањем.

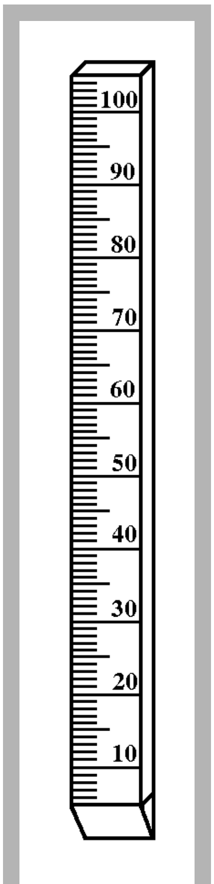
Стални снегомер се прави од дрвене летве дужине 1 - 3 m, ширине 6 cm и дебљине 2,5 cm (сл. 8.7). Летва мора бити права и глатка и премазана белом бојом. На летву је, са предње стране, нанесена скала са центиметарском поделом, при чему је сваки непарни центиметар премазан црвеном бојом. Подела је изведена тако да је првих 10 cm убележено на левој половини летве, других 10 cm на десној половини и тако даље, наизменично до врха летве.

Летва се поставља на дрвени стуб укопан у земљу (сл. 8.7) тако да доња ивица летве (0 cm) буде у висини површине тла и да снегомер после причвршћивања стоји потпуно усправно, предњом страном окренут према северу.

Висина снежног покривача помоћу сталних снегомера се мери сваког дана у 0700 часова по СЕВ-у, без обзира на врсту снежних падавина од којих је настао снежни покривач. Висина снежног покривача се изражава у центиметрима.



Слика 8.7 Стални снегомер



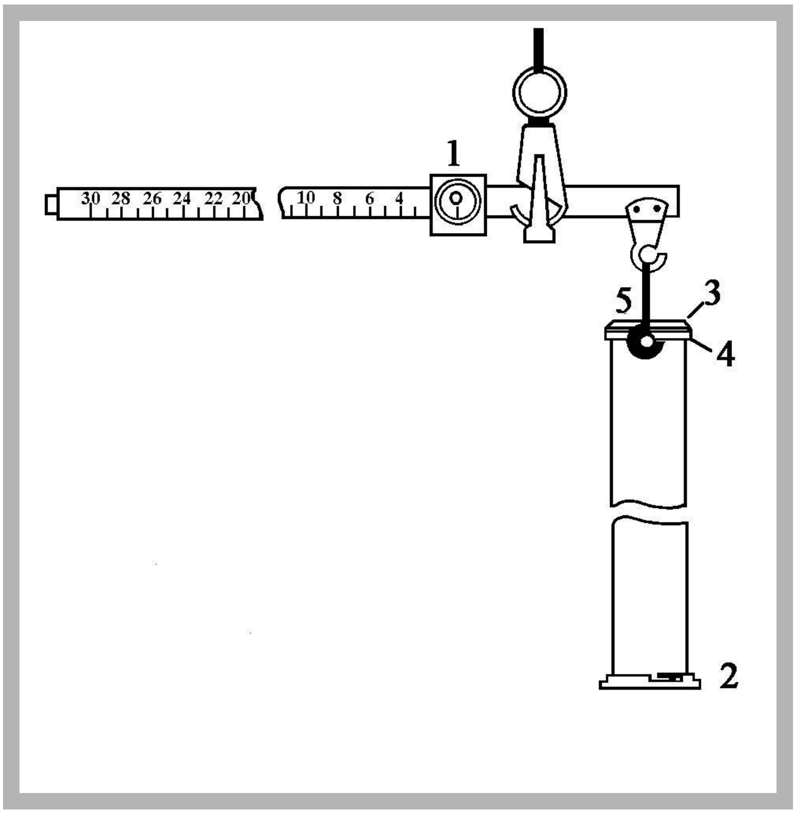
Слика 8.8 Покретни снегомер

Покретни снегомер (сл. 8.8) се прави од праве дрвене летве чија дужина износи 1-3 m. Ширина снегомера је 4 cm, а дебљина 2 cm. И на овом снегомеру је нанесена скала са истом поделом као код сталног снегомера. Изнад сваког десетог подеока скале је уписан број. Нулти поделак се поклапа са доњим крајем снегомера који је заоштрен у виду клина и окован је лимом у дужини од 4 cm.

Ако се на станици висина снежног покривача мери помоћу покретног снегомера, то се обавља у једној или три тачке на месту одређеном за мерење висине снежног покривача, и то по једно мерење у 0700 часова по СЕВ-у.

Мерење густине снега. За мерење густине снега употребљавају се снегомерна вага и Хелманова вадилица. Место за узимање узорака намењених мерењу густине снега треба да има површину 50 - 60 m^2 и да се налази уз место предвиђено за мерење висине снежног покривача.

Снегомерна вага (сл. 8.9) се састоји од римског кантара, цилиндра и лопатице. На полузи кантара је скала издељена на подеоке, при чему један поделак одговара маси од 0,005 kg. Равнотежно стање инструмента се постиже помоћу помичног тега (1).



Слика 8.9 Снегомерна вага

Цилиндар има дужину од 60 cm. На доњој страни цилиндра налази се поклопац (2) који може да се скида. На горњој страни цилиндра причвршћен је прстен оштре ивице (3) и површине од 50 cm^2. На цилиндар је навучена и причвршћена карика (4) са куком за вешање (5). Споља је на цилиндру урезана скала са центиметрском поделом, чија се нула поклапа са оштром ивицом прстена. Лопатица је нешто шира од цилиндра и користи се за одгртање и повлачење испод цилиндра при узимању узорака снега.

Поступак при узимању узорака за мерење густине снега је следећи. Скине се поклопац с доње основе цилиндра, те се потом крај са заоштреним прстеном окренутим на доле забоде право у снег. Потом се очита висина снежног покривача помоћу скале која се налази на цилиндру. Поклопцем се затвори цилиндар, окачи о полугу кантара и када је вага у равнотежи, прочита одговарајући подеок.

Из измерених података, густина снега ρ ($g\ cm^{-3}$) добија се преко израза

$$\rho = \frac{n}{h} \tag{8.1}$$

где је н број очитан на полузи кантара који одговара маси узорка снега, а х висина снега у центиметрима, очитана на цилиндру. Ако висина снежног покривача премашује дужину цилиндра, онда се узорак снега не узима цео одједанпут, већ у два или три маха.

Редовно мерење густине снега врши се сваког петог дана када је висина једнака или већа од 6 cm и то: 5, 10, 15, 20, 25 и последњег дана у месецу. Мерење се обавља после осматрања висине снежног покривача.

Задатак 8.1

Мерењем је установљено да је једног дана: а) висина снежног покривача, очитана на цилиндру снегомерне ваге, износила $h = 39$ cm и равнотежни број подеока на полузи кантара $n = 11,3$; а другог дана: б) висина снежног покривача очитана на цилиндру приликом првог и другог мерења износила је укупно $h = 80$ cm а број подеока на полузи кантара добијен првим и другим мерењем износио је $n_1 = 14,1$ и $n_2 = 10,9$. Одредити густину снега у оба случаја.

Решење:

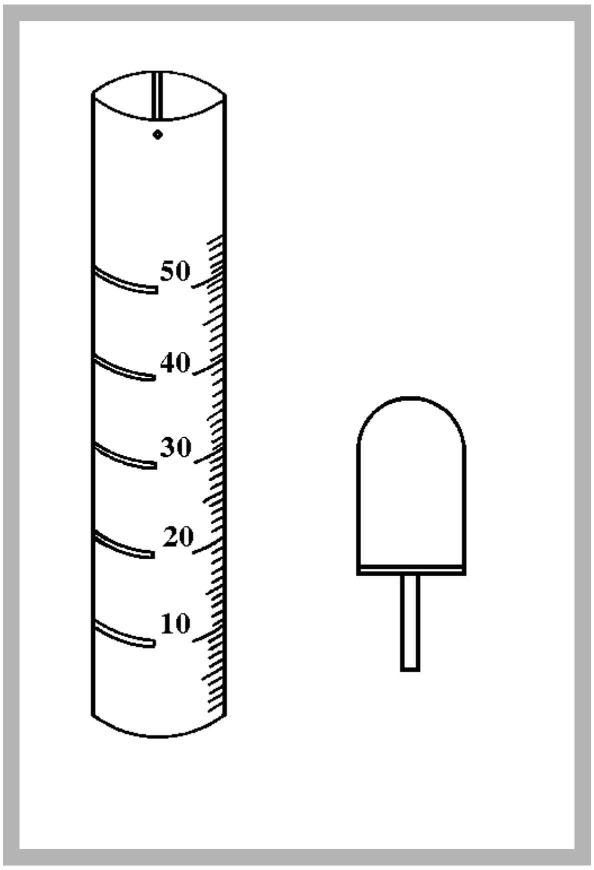
Користећи израз (8.1) налази се да је:

а) $$\rho = \frac{11,3}{39} = 0,29 \text{ g cm}^{-3}$$

и

б) $$\rho = \frac{14.1 + 10.9}{80} = 0,31 \text{ g cm}^{-3}$$

Хелманова вадилица се састоји из цилиндра од поцинкованог лима и лопатице (сл. 8.10). Цилиндар је дугачак 60 cm са површином попречног пресека отвора од 10 cm^2. На горњем крају цилиндра налази се центиметарска подела помоћу које се мери висина узетог узорка снежног покривача за одређивање густине. Лопатица је нешто веће површине него основа цилиндра и служи за подвлачење испод цилиндра при вађењу узорака снега. Поступак при узимању узорака снега помоћу Хелманове вадилице исти је као и код снегомерне ваге само што се снег не мери већ се из вадилице изручује у одговарајућу посуду и топи у топлој просторији. Добијена количина воде се помоћу мензуре Хелмановог кишомера измери у милиметрима.



Слика 8.10 Хелманова вадилица

Потом се густина узорка снега ρ (g cm^{-3}) узетог Хелмановом вадилицом израчунава преко израза:

$$\rho = \frac{n}{5h} \tag{8.2}$$

где је n количина воде у узорку снега изражена у милиметрима измерене мензуром, а h висина снежног покривача у центиметрима, очитана на вадилици.

Одређивање садржаја воде у снежном покривачу. Садржај воде у снежном покривачу изражава се у милиметрима и означава висину воде која би се добила ако би се снежни покривач истопио.

Садржај воде Q_S (mm) у снежном покривачу израчунава се преко израза:

$$Q_S = 10 h_S \rho \tag{8.3}$$

где је са h_S означена средња висина снега измерена помоћу снегомера, а ρ средња густина снега.

Задатак 8.2

Просечне вредности висине снежног покривача и густине снега измерене на метеоролошкој станици износе h_S = 15 cm и ρ = 0,20 g cm^{-3}. Израчунати садржај воде Q_S у снежном покривачу.

Решење:

Према изразу (8.3) налази се да је

$$Q_S = 10 \cdot 15 \text{ cm} \cdot 0{,}2 \text{ g cm}^{-3} = 30 \text{ mm}$$

8.4 Контролна питања и задаци

1. Шта су падавине?
2. Којим се елементима карактеришу падавине?
3. Којим се инструментима мери количина падавина?

4. За шта се употребљава плувиограф?
5. Описати тотализатор.
6. Који се елементи мере код снежних падавина?
7. Којим се инструментом мери висина снежног покривача?
8. Којим инструментом се мери густина снега?
9. Како се одређује садржај воде у снежном покривачу?

Задатак 8.3

У табели 8.1 дате су висине h, и равнотежни број подеока на полузи кантара n, измерени снегомерном вагом и висине снега h_s измерене снегомером на једној метеоролошкој станици. Израчунати: а) одговарајућу густину снега и б) израчунати садржину воде у снежном покривачу.

	h	n	h_S		h	n	h_S
1.	39	11,6	9,4	13.	38	11,8	8,1
2.	41	15,7	8,4	14.	49	12,4	17,8
3.	55	18,9	11,6	15.	22	8,7	4,8
4.	27	12,4	7,0	16.	76	36,7	13,5
5.	47	18,9	11,2	17.	31	22,7	2,9
6.	52	19,6	15,4	18.	27	9,6	5,6
7.	31	20,7	8,1	19.	45	13,7	8,2
8.	44	22,4	11,9	20.	37	15,7	6,8
9.	59	12,6	30,4	21.	58	12,8	12,7
10.	17	6,1	10,0	22.	27	6,4	8,4
11.	48	17,2	16,7	23.	38	20,2	6,0
12.	50	13,8	14,1	24.	40	13,3	8,4

Табела 8.1 Висина h (cm), равнотежни број подеока на полузи кантара n, измерени снегомерном вагом и висине снега h_S (cm) измерене снегомером

9

ВЕТАР

9.1 Општи појмови

Ветар је хоризонтално кретање ваздуха (премештање ваздушних маса) у односу на земљину површину. Ветар, као метеоролошки елеменат, одређен је правцем и брзином или јачином.

Правац ветра је правац одакле ветар дува. Одређује се или страном света или, пак, углом који правац ветра заклапа са правцем географског севера.

Брзина ветра је пређени пут ветра (ваздушне масе) у јединици времена. Изражава се у $m\ s^{-1}$. Када нема ветра или када је његова брзина мања од 0,3 $m\ s^{-1}$ каже се да је тишина и обележва се са С (почетно слово од француске речи цалме).

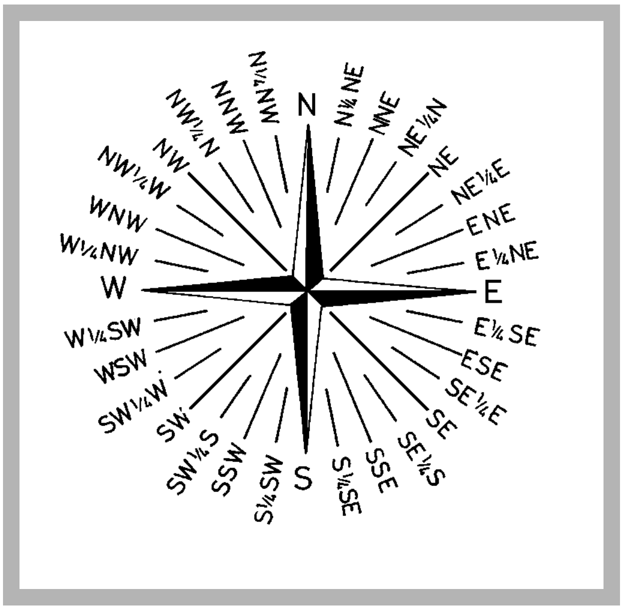
Јачина ветра је сила притиска ветра на поједине предмете у природи у јединици времена. Изражава се у степенима Бофорове скале (Beaufort) за које је уобичајена ознака B.

Између брзине ветра v ($m\ s^{-1}$) и јачине ветра Q (B) постоји релација:

$$v = 0{,}836 \cdot \sqrt{Q^3} \qquad (9.1)$$

9.2 Одређивање правца и јачине ветра

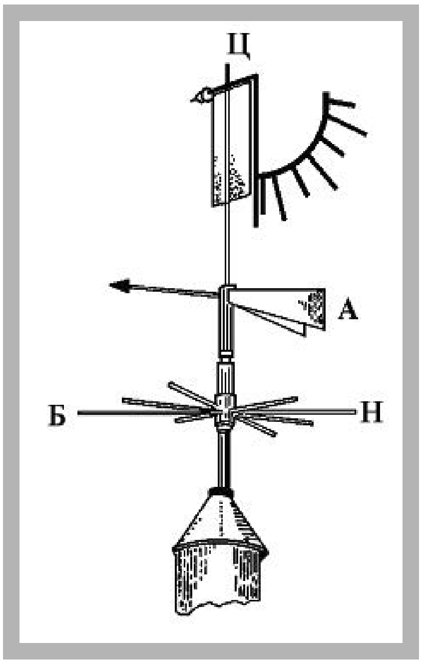
Правац ветра се одређује помоћу ветроказа, електричних даљинских анемометара и анемографа. Том приликом правац ветра се одређује по страни света одакле ветар дува. Означавање појединих страна света, па према њима и правца ветра,



Слика 9.1 Ружа ветрова од 32 правца

врши се почетним словима њихових назива на енглеском језику: N (North - север), E (East - исток), S (South - југ) и W (West - запад). Комбинацијом ових почетних слова за четири главна правца, обележени су и сви остали правци. Ради прецизнијег изражавања правца ветра користи се ружа ветрова која може имати 4, 8, 16, 32 итд., праваца. На слици 9.1 приказана је тзв. ружа ветрова од 32 правца.

Јачина ветра може да се одреди проценом (без инструмента) коришћењем



Слика 9.2 Вилдеов ветроказ

Q (B)	назив ветра	v (m s^{-1})	опис појава у природи
0	тишина	0,0 - 0,3	тихо; дим се диже усправно
1	лак поветарац	0,3 - 1,5	правац ветра се запажа по кретању дима, а не по ветроказу
2	поветарац	1,6 - 3,3	ветар се осећа на лицу, лишће трепери, ветруља се покреће
3	слаб ветар	3,4 - 5,4	лишће и гранчице се стално клате; развијају се лаке заставе.
4	умерен ветар	5,5 - 7,9	ветар подиже прашину и листове хартије; покреће мале гране
5	умерено јак ветар	8,0 - 10,7	тања лисната стабла почињу да се њишу; образују се мали таласи са крестама на копненим водама.
6	јак ветар	10,8 - 13,8	покрећу се велике гране; чује се зујање телеграфских жица; отежана употреба кошобрана.
7	врло јак ветар	13,9 - 17,1	Стабле дрвећа се њишу; ходање уз ветар је отежано.
8	олујни ветар	17,2 - 20,7	ветар ломи гране на дрвећу; ходање уз ветар је, уопште узев, немогуће.
9	олуја	20,8 - 24,4	настају лака оштећења на зградама (одкидање олука, рушење димњака и скидање црепа).
10	жестока олуја	24,5 - 28,4	ретко се јавља у унутрашњости копна; чупа дрвеће из земље; настају велике штете на зградама.
11	орканска олуја	28,5 - 32,6	врло ретка појава праћена разарањима великих размера.
12	оркан	32,7 - 36,9	---

Табела 9.1 Бофорова скала јачине ветра Q (B) на копну и одговарајуће брзине ветра v (m s^{-1}) (важи за висину од 10 m изнад равног и отвореног терена)

Бофорове скале (табела 9.1). За изражавање јачине ветра по овој скали употребљавају се бројеви од 0 до 12, где 0 предстаља тишину а 12 најјачи могући ветар. Употреба Бофорове скале за оцену јачине ветра обавезна је на свим главним метеоролошким станицама, без обзира да ли на станици постоје инструменти за

мерење брзине ветра. На тај начин се врше упоредна мерења јачине ветра помоћу Бофорове скале и помоћу инструмената, где их има.

Вилдеов ветроказ (Wilde) (сл. 9.2). Овај једноставан инструмент користи се за одређивање правца ветра. Ветруља (А) прати ветар тако да противтег показује његов правац који се одређује преко крста (Б), на ком је назначен правац севера. Овим инструментом се може одредити и јачина ветра и то преко плочице (Ц). Јачина ветра се приближно одређује

9.3 Мерење брзине ветра

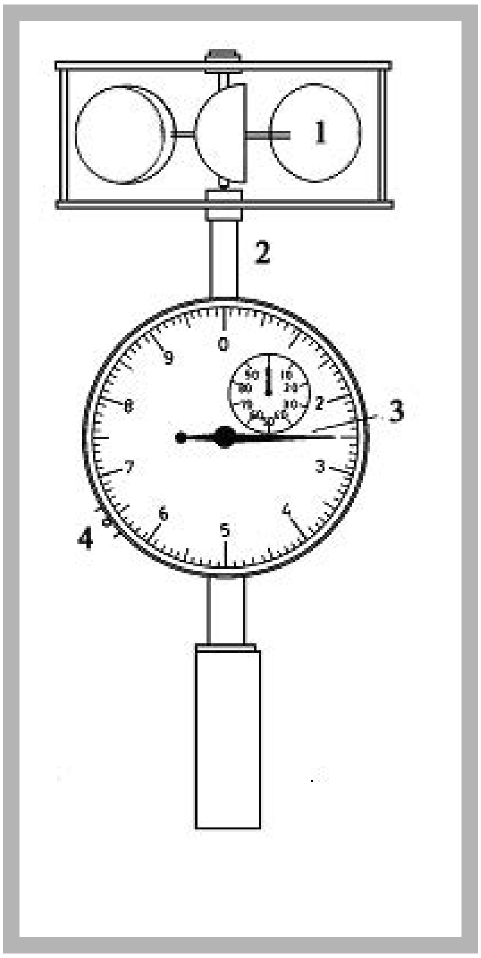
На метеоролошким станицама се, у терминима осматрања, мери средња а не тренутна брзина ветра. За потребе синоптичке метеорологије мери се средња брзина ветра за период од 10 минута, док се за потребе климатологије мери средња брзина ветра за период од 100 секунди у термуну осматрања.

Брзина ветра се мери помоћу анемометара и анемографа. Анемометри и анемографи су инструменти који служе за мерење само брзине или и правца и брзине ветра. Они могу бити конструисани као: 1) ручни анемометри за мерење брзине ветра (преносни инструменти); 2) електрични даљински анемометри за мерење правца и брзине ветра и 3) анемографи за непрекидно бележење правца и брзине ветра (стално постављени инструменти).

Ручни анемометар се употребљава за мерење брзине ветра на различитим висинама изнад површине тла. Са њим се најчешће мери брзина ветра на висини од 2 m, али се он може користити и за редовна мерења на висини ветроказа (10 m), уколико за то постоје повољни услови у погледу приступа. Пријемни део ручног анемометра (сл. 9.3) састоји се од три или четири калоте (шупље полулопте) код којих су шупљине окренуте на исту страну (1).

Калоте се под дејством ветра окрећу у круг угаоном брзином која је пропорционална брзини ветра. Калоте су учвршћене на осовину (2), која је на горњем и доњем крају учвршћена специјалним лежајевима. На доњем крају се налази бесконачни завртањ који ово кретање преноси на систем зупчаника за које су причвршћене казаљке. Уместо казаљки може се уградити и бројач. На предњој страни кућишта, испод стакленог поклопца, налази се бројчаник с једном великом казаљком

у средини и две или више казаљки са стране (3). Мање казаљке се крећу по скалама чија је подела од 0 до 100. Тако на пример, код анемометра са две казаљке (сл. 9.3) након 1000 m велика казаљка обиђе цео круг док се мала помери само за један поделак. Мерење се обавља на тај начин што се у термину за осматрања анемометар пусти у погон, померањем полуге (4) у доњи положај, у ком се држи одређено време. То време, као што је истакнуто, износи 100 секунди приликом мерења за потребе климатологије или 10 минута за синоптичке потребе. По обављеном мерењу казаљке се враћају у почетни положај. За средњу брзину ветра се узима количник између пређеног пута у метрима и времена осматрања у секундима.

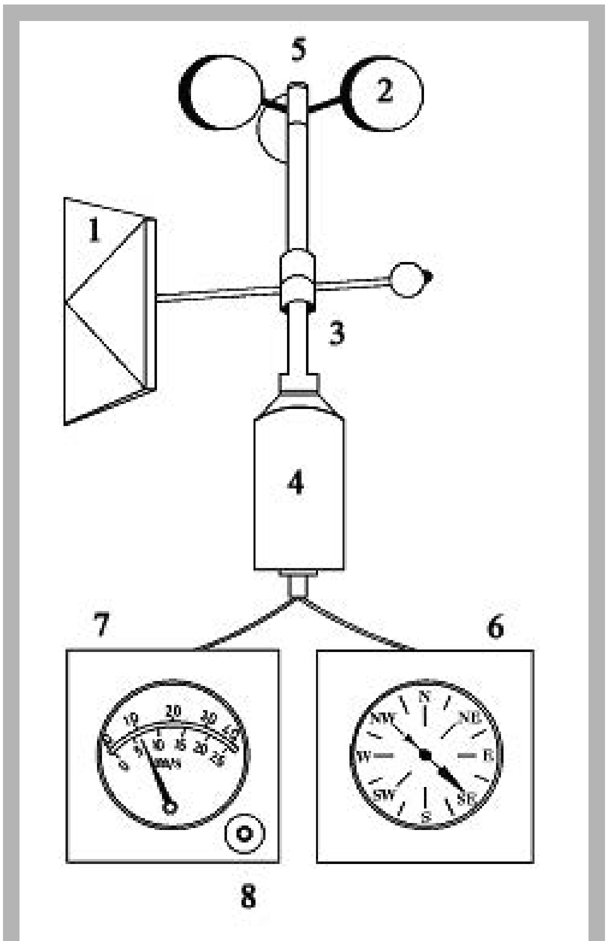


Слика 9.3 Ручни анемометар

Електрични даљински анемометар се састоји из два основна дела (сл. 9.4). Први део је комбиновани пријемник за правац и брзину ветра, који се поставља на отвореном простору. Други део сачињавају два показивача (за правац и брзину) који се постављају у станичној згради. Комбиновани пријемник се састоји из пријемника за

правац ветра (1) и пријемника за брзину ветра кога сачињава систем калота (2). Пријемник за правац ветра је исти као код Вилдеовог ветроказа. Под дејством ветра ветруља електричног даљинског анемометра (1) прати правац ветра окрећући се око осовине (3), при чему се у унутрашњости кућишта (4) остварују електрични контакти. При том, свакој страни света одговара по један контакт. Тако добијена информација, о положају ветруље, се електричним проводницима преноси на показивач правца ветра (6).

Пријемник за мерење брзине ветра се састоји од три калоте учвршћене на усправну осовину (5), која својим доњим делом улази у кућиште (4), где је причвршћена за ротор генератора. При обртању калоти у генератору се индукује електромоторна сила која је сразмерна брзини обратања калота, тј. брзини ветра.



Слика 9.4 Електрични даљински анемометар

Показивач брзине је мерни инструмент (7). Показивач брзине обично има две скале и то: горњу, за брзине од 0 до 40 m s^{-1} и доњу за брзине до 15 или 20 m s^{-1}. У термину за

осматрања, правац и брзина ветра се одређују на основу положаја казаљки на показивачима с тим што се предходно притисне дугме у десном углу (8).

Фусов анемограф (Fuss) служи за бележење правца ветра, пређеног пута (средња брзина) и тренутне брзине ветра. Све ове три величине бележе се на траци. Као пријемни део за правац ветра користи се ветруља, за средњу брзину вртешка с три калоте, док се као пријемник за мерење тренутне брзине ветра користи Питоова (Pittot) цев. Овај инструмент се најчешће употребљава на метеоролошким станицама за одређивање елемената ветра.

9.4 Контролна питања

1. Шта је ветар?
2. Којим елементима је одређен ветар као метеоролошки елемент?
3. Дефинисати понаособ сваки елемент ветра.
4. Како се одређује правац и јачина ветра?
5. Описати анемометар.
6. У које се сврхе користи Вилдеов ветроказ?
7. Описати даљински електрични анемометар.
8. Описати Фусов анемограф.

Други део:

ОСНОВИ ОБРАДЕ МЕТЕОРОЛОШКИХ ПОДАТАКА

10

ОБРАДА СУНЧЕВОГ ЗРАЧЕЊА ПРОТИВЗРАЧЕЊА АТМОСФЕРЕ И ЗЕМЉИНОГ ИЗРАЧИВАЊА

10.1 Глобално зрачење, трајање Сунчевог сјаја и облачност

Између средње дневне суме глобалног зрачења G_d и трајања Сунчевог сјаја S_d може да се постави веза емпиријским путем као што је то учињено Прескотовом формулом (Prescott) (Coulson, 1975)

$$G_d = G_A\left(a + b\frac{S_d}{S_p}\right) \tag{10.1}$$

где уведене ознаке имају следећа значења: G_A је средња дневна сума глобалног зрачења које доспе на горњу границу атмосфере; a и b константе које се одређују на основу вишегодишњег низа података о глобалном зрачењу и трајању Сунчевог сјаја. Искуство показује да се преко формуле (10.1), са задовољавајућом тачношћу, могу добити вредности средње дневне суме глобалног зрачења са којима се могу допунити некомплетни низови на станицама на којима се мери глобално зрачење. Такође, овакав начин израчунавања глобалног зрачења може да се употреби при израчунавању потенцијалног испаравања за области које нису покривене мрежом станица на којима се мери глобално зрачење.

Формула (10.1) може да се напише и у другом облику, који се чешће користи у метеоролошкој пракси, тј.

$$G_d = G_A\left(a + bS_r\right). \qquad (10.2)$$

Емпиријским путем добијене су вредности константи a и b, у формули (10.2), за подручје Новог Сада (Михаиловић и Ач (Acs), 1984) које се односе на следеће временске периоде:

1) вегетациони период април - септембар

$$G_d = G_A\left(0{,}29 + 0{,}46S_r\right) \qquad (10.3)$$

2) период април - јун

$$G_d = G_A\left(0{,}26 + 0{,}53S_r\right) \qquad (10.4)$$

и

3) период јул - септембар

$$G_d = G_A\left(0{,}32 + 0{,}40S_r\right). \qquad (10.5)$$

Задатак 10.1

Користећи податке из табела 10.1 и 10.2 израчунати средњу дневну суму глобалног зрачења G_d (J cm^{-2}) у месецу априлу 1967. године у Новом Саду. При израчунавању користитити Прескотову формулу (10.4).

<u>Решење:</u>

Сума глобалног зрачења у току месеца, G_m једнака је збиру декадних сума у том месецу. У табели 10.1 налази се да су вредности средње дневне суме глобалног зрачења на горњој граници атмосфере по декадама за месец април, 3025 J cm^{-2}, 3290 J cm^{-2} и 3530 J cm^{-2}, редом. Надаље, у табели 10.2 налазе се средње вредности релативног трајања Сунчевог сјаја по декадама, 0,30, 0,41 и 0,35, редом. Заменом ових вредности, у формулу (10.4) добија се да је

$$G_m = 3025\cdot\left(0{,}26 + 0{,}53\cdot 30\right)\cdot 10 + 3290\cdot\left(0{,}26 + 0{,}53\cdot 41\right)\cdot 10 + 3530\cdot\left(0{,}26 + 0{,}53\cdot 0{,}35\right)\cdot 10$$

или

$$G_m = 44{,}104\cdot 10^3 \ \text{J cm}^{-2}$$

Уколико се добијена сума подели с бројем дана у месецу априлу добија се средња дневна сума глобалног зрачења G_d од 1470 J cm^{-2}.

декада	месец					
	јануар	фебруар	март	април	мај	јун
1	1068	1515	2198	3025	3688	4074
2	1166	1746	2218	3290	3867	4128
3	1324	1978	2783	3530	4014	4132
	јул	август	септембар	октобар	новембар	децембар
1	4084	3715	3052	2269	1518	1077
2	4000	3517	2784	1997	1326	1020
3	3864	3274	2506	1731	1173	1015

Табела 10.1 Средње дневне суме глобалног зрачења на горњој граници атмосфере G_A (J cm^{-2}), у Новом Саду, по декадама.

Између средње дневне суме глобалног зрачења G_d и средње облачности n може да се постави веза емпиријским путем као што је то учињено Ангстромовом формулом (Coulson, 1975).

$$G_d = G_{d0}\left[1+\left(1-\xi\right)n\right] \qquad (10.6)$$

где уведене ознаке имају следећа значења: G_{d0} је средња дневна сума глобалног зрачења које доспе до Земљине површине у току безоблачног дана, док је ξ константа која се одређује емпиријским путем. Коришћењем вишегодишњих низова података о дневним сумама глобалног зрачења и облачности као и вредност дневних сума глобалног зрачења у току безоблачних дана за Нови Сад, за константу ξ је добијена бројна вредност од 1,89 (Катић и сар., 1978). Заменом ове вредности у формулу (10.6) добија се Ангстромова формула за Нови Сад у облику

$$G_d = G_{d0}\left(1-0{,}89\,n\right) \qquad (10.7)$$

Задатак 10.2

Користећи податке из табеле 10.3 и 12.4 израчунати средњу дневну суму глобалног зрачења G_d (J cm^{-2}) у месецу априлу у Новом Саду. Приликом израчунавања користити Ангстромову формулу (10.7)

Решење:

У табели 10.3 налази се да је вредност средње дневне суме глобалног зрачења у безоблачном дану за месец април 2856 J cm^{-2}. Надаље, у табели 12.4 налази се да је средња месечна облачност у Новом Саду у априлу 0,58. Заменом ових вредности у формулу (10.7) добија се да је

$$G_d = 2856\cdot\left(1-0{,}89\cdot 0{,}58\right)$$

година	декада	месец					
		април	мај	јун	јул	август	септембар
1958	1	0,33	0,69	0,71	0,64	0,69	0,69
	2	0,27	0,64	0,49	0,88	0,75	0,61
	3	0,44	0,68	0,38	0,73	0,59	0,63
1959	1	0,44	0,61	0,58	0,55	0,65	0,63
	2	0,46	0,34	0,56	0,38	0,41	0,72
	3	0,44	0,46	0,49	0,49	0,63	0,53
1960	1	0,36	0,25	0,69	0,47	0,69	0,75
	2	0,44	0,60	0,61	0,66	0,73	0,68
	3	0,31	0,47	0,47	0.47	0,75	0,41
1961	1	0,71	0,45	0,54	0,67	0,87	0,65
	2	0,45	0,31	0,55	0,64	0,58	0,78
	3	0,31	0,48	0,75	0,57	0,80	0,81
1962	1	0,44	0,63	0,37	0,49	0,49	0,79
	2	0,23	0,51	0,56	0,54	0,69	0,57
	3	0,61	0,74	0,59	0,68	0,71	0,31
1963	1	0,34	0,55	0,53	0,67	0,57	0,45
	2	0,43	0,74	0,49	0,66	0,70	0,77
	3	0,63	0,47	0,83	0,71	0,67	0,47
1964	1	0,23	0,45	0,64	0,65	0,62	0,42
	2	0,69	0,54	0,68	0,59	0,57	0,71
	3	0,50	0,40	0,53	0,65	0,67	0,47
1965	1	0,48	0,48	0,40	0,64	0,83	0,58
	2	0,12	0,47	0,52	0,81	0,61	0,56
	3	0,44	0,42	0,76	0,76	0,54	0,70
1966	1	0,38	0,67	0,58	0,65	0,67	0,63
	2	0,44	0,69	0,49	0,70	0,76	0,62
	3	0,41	0,45	0,55	0,43	0,39	0,64
1967	1	0,30	0,63	0,51	0,61	0,76	0,68
	2	0,41	0,47	0,41	0,76	0,73	0,32
	3	0,35	0,42	0,82	0,81	0,61	0,74
1968	1	0,68	0,58	0,59	0,84	0,56	0,50
	2	0,62	0,28	0,62	0,65	0,55	0,38
	3	0,70	0,43	0,73	0,52	0,49	0,57
1969	1	0,46	0,56	0,36	0,62	0,66	0,64
	2	0,36	0,67	0,59	0,62	0,49	0,26
	3	0,62	0,60	0,32	0,68	0,51	0,77
1970	1	0,35	0,36	0,37	0,43	0,74	0,48
	2	0,39	0,34	0,58	0,51	0,63	0,55
	3	0,46	0,36	0,73	0,79	0,44	0,60

Табела 10.2 Средње декадне вредности релативног трајања Сунчевог сјаја током вегетационог периода у Новом Саду

или

$$G_d = 1382 \text{ J cm}^{-2}$$

Треба истаћи да се формуле (10.3) - (10.5) и (10.7), уз коришћење табела 10.1 и 10.3, могу употребити за израчунавање дневних сума глобалног зрачења за било које место у Војводини под условом да постоје подаци о средњим вредностима облачности и трајања Сунчевог сјаја за то место.

месец	јануар	фебруар	март	април	мај	Јун
G_{d0}	920	1440	2102	2856	3383	3651
месец	јул	август	септембар	октобар	новембар	децембар
G_{d0}	3551	3115	2437	1717	1097	796

Табела 10.3 Дневне суме глобалног зрачења у безоблачном дану G_{d0} (J cm^{-2}) у близини површине земље у Новом Саду

10.2 Противзрачење атмосфере и Земљино израчивање

У атмосфери се налазе различити састојци у гасовитом, течном и чврстом агрегатном стању. Ти састојци, по Штефан-Болцмановом закону, зраче одређени износ енергије у виду дуготаласног зрачења. Противзрачење атмосфере у највећој мери зависи од температуре ваздуха и садржаја водене паре у њему. Наиме, повећан садржај водене паре доприноси и повећаном противзрачењу атмосфере. У метеорологији постоји велики број емпиријских формула преко којих могу да се израчунају вредности интензитета противзрачења атмосфере уколико су познати подаци о температури ваздуха, притиску водене паре и облачности.

Једна од најчешће употребљаваних емпиријских формула за израчунавање интензитета противзрачења атмосфере је Брентова (Brent) формула (Coulson, 1975) која има облик

$$B_A = \sigma T^4 \left(0{,}526 + 0{,}065\sqrt{e}\right) \tag{10.8}$$

где уведене ознаке имају следећа значења: B_A - интензитет противзрачења атмосфере; σ - Штефан-Болцманова константа; T - температура ваздуха на неком нивоу (обично на висини од 2 m) изражена у K и e - притисак водене паре. Формула (10.8) важи само

ако је небо безоблачно. Можда није на одмет напоменути, да је у научној литератури уобичајено да се са T означава температура изражена у Келвинима (K), а са t температура изражена у степенима Целзијуса (^oC).

Интензитет Земљиног израчивања B_z израчунава се преко израза

$$B_z = \varepsilon_z \sigma T_z^4 \tag{10.9}$$

где је $T_з$ температура на површини Земље, а ε_Z емисивност земљишта за коју се обично узима вредност од 0,96.

Задатак 10.3

У табели 10.4 дати су подаци о средњим месечним температурама t и притисцима водене паре e у Новом Саду за период 1948 - 1968. године. Израчунати средње дневне суме противзрачења атмосфере B_A ($J\ cm^{-2}$) користећи Брентову формулу. Графички приказати годишњи ход дневних сума противзрачења атмосфере.

Решење:

Израчунавање средње дневне суме противзрачења атмосфере биће приказано на примеру за месец април. У табели 10.4 налази да је t = 11,6 ^oC и e = 9,46 mb. Заменом ових вредности у формулу (10.8) добија се да је интензитет противзрачења атмосфере

$$B_A = 5{,}6703 \cdot 10^{-8} \cdot (273{,}15 + 11{,}6)^4 \cdot \left(0{,}526 + 0{,}065 \cdot \sqrt{9{,}46}\right)$$

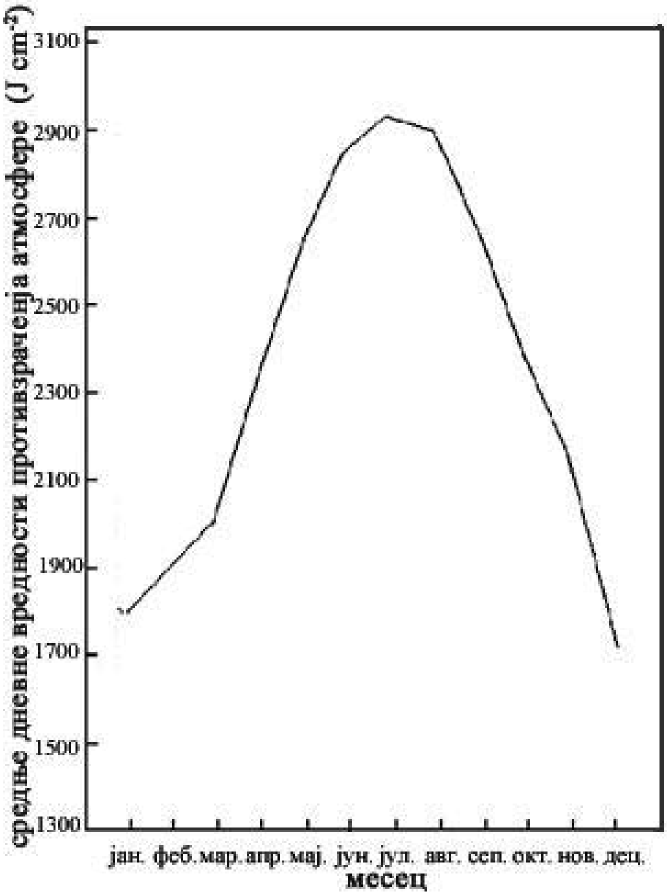
или

месец	јануар	фебруар	март	април	мај	јун
t	-1,3	0,8	5,0	11,6	16,4	19,8
e	5,20	5,86	6,67	9,46	13,06	16,40
месец	јул	август	септембар	октобар	новембар	децембар
t	21,5	21,0	17,1	11,7	6,6	1,4
e	17,30	16,93	14,00	10,53	8,40	1,87

Табела 10.4 Средње месечне температуре ваздуха t (^oC) и притиска водене паре e (mb) у Новом Саду за период 1948-1968. године

$$B_A = 270{,}6 \ W \ m^{-2}$$

Средња дневна сума, за месец април, добија се множењем добијене вредности са 24 часа и 3600 s што износи 2338 J cm^{-2}. Исти поступак се понови и за остале месеце.



Слика 10.1 Годишњи ход противзрачења атмосфере у Новом Саду

Графички приказ годишњег хода противзрачења атмосфере у Новом Саду дат је на слици 10.1

10.3 Контролна питања и задаци

1. Шта се израчунава Прескотовом формулом?
2. Објаснити значење појединих чланова у Прескотовој формули?
3. Шта се израчунава Ангстромовом формулом?
4. Обајснити значење појединих чланова у Ангстромовој формули.
5. Како се израчунава противзрачење атмосфере?
6. Како се израчунава Земљино израчивање?

Задатак 10.4

Користећи податке о средњим декадним вредностима релативног трајања Сунчевог сјаја (табела 10.2), израчунати средње дневне суме глобалног зрачења у Новом Саду, за поједине месеце. При израчунавању користитити Прескотову формулу за одговарајући период.

Задатак 10.5

Користећи податке о средњој месечној обачности у појединим местима Војводине (табела 12.4), израчунати средње дневне суме глобалног зрачења за све месеце. При израчунавању користити Ангстромову формулу (10.7) и табелу 10.3.

Задатак 10.6

Користећи податке о средњим месечним температурама ваздуха и притисцима водене паре у појединим местима Војводине (табела 10.4), израчунати средње дневне суме противзрачења атмосфере за све месеце. При израчунавању користити Брентову формулу. Графички приказати годишњи ход противзрачења атмосфере.

11

ОБРАДА ТЕМПЕРАТУРЕ ВАЗДУХА И ЗЕМЉИШТА

11.1 Средње вредности температуре ваздуха и земљишта

Температуре ваздуха и земљишта представљају метеоролошке елементе преко којих се највише одражава утицај спољне средине на пораст и развиће биљака и животиња као и на човекову делатност. У том смислу осмотрене вредности температуре ваздуха и земљишта се користе не само за израчунавање њихових средњих вредности већ и за израчунавање одређених параметара који описују степен тог утицаја.

Средња дневна температура ваздуха T_d, израчунава се на следећи начин

$$T_d = \frac{1}{2N}\sum_{k=1}^{N}(t_{k-1} + t_k) \qquad (11.1)$$

где су t_k часовне вредности температуре ваздуха очитане са термографске траке или очитане сваког часа а N број часова у дану;

$$T_d = \frac{t_7 + t_{14} + 2t_{21}}{4} \qquad (11.2)$$

где су t_7, t_{14}, и t_{21} температуре ваздуха осмотрене у климатолошким терминима осматрања у 0700, 1400 и 2100 час по месном времену;

$$T_d = \frac{t_{max} + t_{min}}{2} \qquad (11.3)$$

где су t_{max} и t_{min} означене максимална и минимална температура ваздуха у току 24 часа.

Средња температура ваздуха T_J, за временску јединицу J (пентада, декада, месец, вегетациони период, година) израчунава се као аритметичка средина средњих дневних температура ваздуха, T_d^j у овим временским јединицама, односно

$$T_J = \frac{1}{J}\sum_{j=1}^{J} T_d^j \tag{11.4}$$

где је са J означен број дана у временској јединици.

Средња температура ваздуха T_J^I, за вишегодишњи низ података одређене временске јединице израчунава се као аритметичка средина средњих дневних температура ваздуха за ту временску јединицу у изабраном низу година, односно

$$T_J^I = \frac{1}{I}\sum_{i=1}^{I} T_J^i \tag{11.5}$$

где је са I означен број година у низу а J је ознака временске јединице.

Средња температура земљишта T_{zd}, на одређеној дубини израчунава се као

$$T_{zd} = \frac{t_{z7} + t_{z14} + t_{z21}}{3} \tag{11.6}$$

где су са t_{z7}, t_{z14}, и t_{z21} означене температуре земљишта на одређеној дубини осмотрене у климатолошким терминима 0700, 1400 и 2100 час по Месном времену. Уколико се располаже са часовним или екстремним вредностима температуре замљишта на некој дубини, тада се средња дневна температура земљишта на тој дубини израчунава на исти начин као и средња дневна температура ваздуха.

Средње температуре земљишта за остале временске јединице и за вишегодишње низове података израчунавају се по истим поступцима као што је наведено за температуру ваздуха. Уколико се средње температуре ваздуха или земљишта односе на низ од најмање 30 година континуираних осматрања онда се такве температуре обично називају ***нормалне температуре***

11.2 Екстремне вредности температура ваздуха и земљишта

Максимална и минимална температура ваздуха (екстремне температуре) мере се максималним, односно минималним термометром. ***Апсолутни максимум (минимум) температуре ваздуха за одређени период*** (пентада, декада, месец, вегетациони период и година) дефинише се као највиша (најнижа) осмотрена температура ваздуха у том периоду. ***Дневно колебање температуре ваздуха*** представља разлику између максималне и минималне температуре ваздуха у току дана. ***Годишње колебање температуре ваздуха*** представља разлику између апсолутног максимума и минимума температуре ваздуха у току године. Исте дефиниције су у важности и за температуре земљишта.

У пољопривредној пракси често се користе подаци о броју дана са неким граничним вредностима екстремних температура ваздуха. Дефиниције дана са одређеним граничним вредностима екстремних температура ваздуха дате су у табели 11.1.

Једна од неповољних временских појава, која наноси штету пољопривредној производњи, је и мраз. Под појмом ***мраз*** подразумева се пад температуре ваздуха испод 0 ^{o}C. У умереним географским ширинама мраз је нормална појава у хладном делу године. Зимски мразеви представљају неповољну појаву само ако су температуре ваздуха ниске, а биљке нису заштићене снежним покривачем. Међутим, мразеви који се јављају на почетку хладног периода (јесењи или рани мразеви) или на крају хладног периода (пролећни или касни мразеви) могу бити веома штетни у зависности од

дан	максимална температура	минимална температура
мразни дан		≤ 0
ледени дан	≤ 0	
дан са јаким мразом		≤ -10
летњи дан	≥ 25	
тропски дан	≥ 30	
тропска ноћ		≥ 20

Табела 11.1 Дефиниције дана с одређеним граничним вредностима максималне t_{max} (^{o}C) и минималне t_{min} (^{o}C) температуре ваздуха.

њиховог интензитета, трајања и фазе развића биљке. Због тога се у пољопривредној пракси користе различите методе за заштиту од мраза. Једна од тих метода је и вештачко кишење (орошавање). У основи ове методе лежи чињеница да се приликом мржњења воде ослобађа латентна топлота мржњења, која подиже температуру ваздуха у приземном слоју и на тај начин штити биљку од ниских температура. Поред тога, ледена скрама која се формира спречава измрзавање биљних делова у временском периоду док траје мраз. Надаље, примена овог метода захтева и извесну поузданост у прогнозирању појаве и интензитета мраза, будући да познавање ових података условљава и припрему за заштиту од мраза која је понекад и веома скупа. На једном примеру биће приказан поступак прорачуна одређених елемената чије је познавање неопходно да би се обавила заштита.

Задатак 11.1

На пољопривредном добру које се бави узгајањем паприке редовно су била организована дежурства, с увек припремљеним уређајима за вештачку кишу, у циљу заштите од мраза. Ово је било неопходно будући да је критична температура за паприку t_k = -1,7 °C, а поднебље у ком је гајена паприка карактеристично је по великој вероватноћи појаве мраза у периоду када се паприка бере (октобар). Једног таквог дана у метеоролошком заклону у 1300 часова по СЕВ-у измерене су температуре сувог t = 8,0 °C и влажног термометра t_1 = 1,7 °C на Августовом психрометру. Будући да је током предходних дана преовладавао антициклонални тип времена, то је био сигнал да се изврше припреме за заштиту од могућег мраза у наступајућој ноћи. Том приликом било је потребно: а) прогнозирати појаву мраза у наступајућој ноћи; б) прогнозирати минималну температуру t_{min} у наступајућој ноћи користећи температуре ваздуха осмотрене у 1800 и 2000 часова по СЕВ-у, t_{18} = 3,0 °C и t_{20} = 1,2 °C; в) одредити трајање мраза $\Delta\tau_0$; г) одредити трајање периода $\Delta\tau_k$ са температуром испод критичне температуре за паприку и д) количину воде потребну за вештачку кишу (mm ha^{-1}) којом би се остварило повишење температуре ваздуха за Δ t = 2,0 °C.

Приликом прорачуна било је потребно узети у обзир следеће елементе:

1) специфична топлота воде је $c = 1{,}216\cdot10^3$ J $°C^{-1}$ m^{-3};
2) парцела је имала повешину S = 1 ha;
3) да је висина h докле се осећа повишење температуре услед ослобођања латентне топлоте, 2 m;
4) латентна топлота мржњења воде, $q = 334{,}96\cdot10^6$ J m^{-3} и
5) да је време изласка Сунца било τ_s = 0506 часова по СЕВ-у.

Решење:

а) Прогноза појаве мраза у наступајућој ноћи може да се обави ***методом Михаљевског*** (Mihalevski), израчунавњем темепературе t_N која се користи за одређивање могућности појаве мраза. Она се одређује помоћу једначине

$$t_N = t_1 - 2M(t - t_1) \qquad (11.7)$$

при чему уведене ознаке имају следећа значења:
t, t_1 - температуре сувог и влажног термометра очитане са Августовог психрометра у 1300 часова по СЕВ-у, редом;
M - константа која се одређује на основу релативне влажности ваздуха (табела 11.2).

Када се израчуна температура T_N, по овој методи, критеријум за одређивање могућности појаве мраза је:

$t_N \le -2\,^oC$	мраз се очекује
$-2\,^oC < t_N \le 2\,^oC$	мраз је могућ
$t_N > 2\,^oC$	мраз се не очекује.

Користећи податке из табела 5.3 и 5.4 одређују се вредности максималног притиска водене паре E и притиска водене паре e.

$t = 8{,}0\,^oC$	$E = 10{,}73$ mb
$t_1 = 1{,}7\,^oC$	$E_1 = 6{,}91$ mb
$\Delta t = 6{,}3\,^oC$	$C\Delta t = 5{,}04$ mb
	$e = 1{,}87$ mb

Користећи дефиницију релативне влажности

$$r = \frac{e}{E} \cdot 100\%$$

добија се да је r = 17%. У табели 11.2 налази се да овој вредности релативне влажности ваздуха одговара вредност константе M = 0,3. Заменом вредности t, t_1 и M у једначину (11.7) добија се да је $t_N = -2{,}08\,^oC$.

На основу горе описаног критеријума и израчунате вредности t_N може се рећи да се мраз очекује.

r	M	r	M	r	M	r	M
5	0,1	30	0,7	55	1,3	80	3,0
10	0,2	35	0,8	60	1,5	85	3,5
15	0,3	40	0,9	65	1,8	90	4,0
20	0,4	45	1,0	70	2,0	95	4,5
25	0,5	50	1,2	75	2,5	100	5,2

Табела 11.2 Вредности константе M у зависности од релативне влажности ваздуха r (%)

б) Следећи корак у задатку се састоји у прогнозирању минималне температуре t_{min}, у наступајућој ноћи. У метеоролошкој пракси, за добијање овакве врсте прогноза, најчешће је у употреби ***једначина Лангеа*** (Lange)

$$t_{min} = t_{18} - 3.33(t_{18} - t_{20}) \tag{11.8}$$

где су t_{18} и t_{20} температуре ваздуха у 1800 и 2000 часова по СЕВ-у, редом;

Заменом одговарајућих вредности у једначини (11.8) налази се да је прогнозирана минимална температура ваздуха уназтупајућој ноћи t_{min} = -3,0 °C.

в) Трајање мраза $\Delta\tau_0$ се израчунава као дужина временског интервала од тренутка када температура ваздуха падне испод 0 °C до тренутка када температура ваздуха, при свом повишењу, поново пређе 0 °C. Како би се ово израчунавање поједноставило обично се учине следеће три претпоставке:

1) температура ваздуха опада и расте линеарно;
2) коефицијенат правца праве којом се описује пораст температуре ваздуха, једнак је коефицијенту правца праве којом се описује пад температуре ваздуха, али са супротним предзнаком;
3) време престанка периода са температурама ваздуха испод критичне температуре за плод паприке се поклапа са временом изласка Сунца (сл. 11.1).

Користећи уведене претпоставке следи да време почетка τ_0^0 и завршетка τ_0^z мраза може да се напише у облику

$$\tau_0^0 = 18 - \frac{2\,t_{18}}{t_{20} - t_{18}} \tag{11.9}$$

$$\tau_0^z = \tau_k^z - \frac{2\,t_k}{t_{18} - t_{20}} \tag{11.10}$$

при чему τ_k^z представља време завршетка периода с температуром ваздуха испод критичне температуре за плод паприка која се, по претпоставци, поклапа с временом изласка Сунца t_s = 0506 часова по СЕВ-у.

Заменом одговарајућих вредности у (11.9) и (11.10) добија се:

$\tau_0^0 = 2118$ часова по СЕВ-у и $\tau_0^z = 0700$ часова по СЕВ-у.

Трајање мраза $\Delta\tau_0$ може да се напише у облику

$$\Delta\tau_k = \tau_s - \tau_k^0 \tag{11.11}$$

Заменом израчунатих вредности за τ_0^0 и τ_0^z у (11.11) налази се да је $\Delta\tau_0 = 10$ часова.

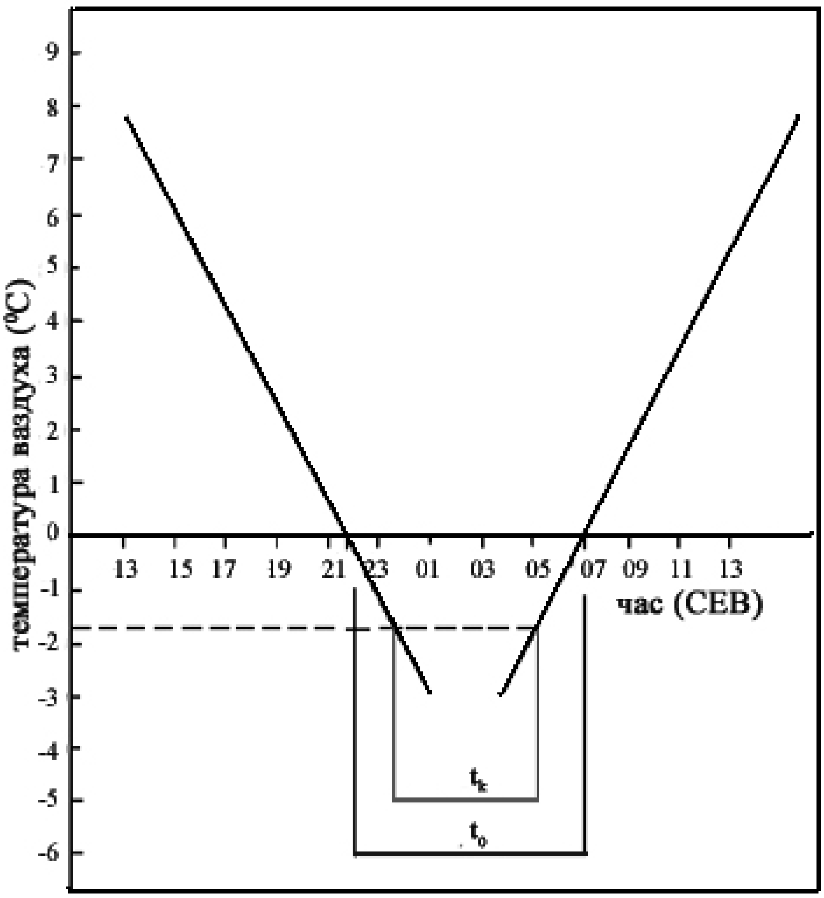
г) Време почетка периода с температуром ваздуха испод критичне температуре за плод паприке τ_k^0 израчунава се помоћу израза

$$\tau_k^0 = 18 + 2\frac{t_k - t_{18}}{t_{20} - t_{18}}. \tag{11.12}$$

Заменом одговарајућих вредности добија се да је почетак периода с температуром ваздуха испод критичне температуре τ_k^0 = 2312 часова по СЕВ-у. Надаље, трајање периода с температуром ваздуха испод критичне температуре може да се напише у облику:

$$\Delta\tau_k = \tau_s - \tau_k^0. \tag{11.13}$$

Заменом одговарајућих вредности добија се да је трајање периода с температуром ваздуха испод критичне температуре $\Delta\tau_k$ = 5,9 часова.



Слика 11.1 Уз одређивање поступка за заштиту од мраза

д) Количина топлоте која се ослободи приликом смрзавања V кубних метара воде износи

$$Q = q\,V \tag{11.14}$$

Ова количина топлоте се утроши на загревање ваздуха запремине V_h која обухвата површину парцеле S до висине h. Са друге стране, количина топлоте Q_1 која је

потребна за повишење температуре ваздуха запремине V_h за Δt може да се изрази у облику

$$Q_1 = c\, V_h\, \Delta t \tag{11.15}$$

Изједначавањем (11.14) и (11.15) и решавањем добијене једначине по V добија се да је

$$V = \frac{c\, V_h}{q} \Delta t \tag{11.16}$$

Заменом одговарајућих вредности у (11.16) налази се да је количина воде коју је потребно потрошити, по хектару, за повишење температуре ваздуха за Δt степени Целзијуса

$$V = 0{,}0363\, \Delta t\ m^3 \tag{11.17}$$

Услед размене топлоте са околним ваздухом, температура ваздуха унутар посматране запремине, опадне за износ Δt у току 36 s што значи да је у току једног часа потребно утрошити

$$V = 3{,}63\, \Delta t\ m^3 \tag{11.18}$$

воде. Количина падавина која би обезбедила ову количину воде је

$$H = 0{,}363\, \Delta t\ mm \tag{11.19}$$

У разматраном примеру, за повишење температуре ваздуха од $\Delta t = 2\ ^oC$, за време од 10 часова потребно је утрошити 72,6 m^3 воде по хектару.

11.3 Израчунавање сума активних температура ваздуха током вегетационог периода њивских култура

Потребе биљака за топлотом нису подједнаке. Има биљака којима је за пораст и за развиће потребно више топлоте (термофиле биљке), док се друге задовољавају с мање. Потребе биљака за топлотом најбоље се могу сагледати преко ***биолошких сума*** температуре ваздуха, под којима се подразумева сума средњих дневних температура ваздуха у вегетационом одређеном периоду изабране културе од почетка раста па до њеног сазревања. На пример, биолошка сума за озиму пшеницу, за период сетва - воштана зрелост, износи 1400 ^oC - 1500 ^oC.

Све биљке не почињу своје развиће и пораст при истој температури ваздуха, а и касније ***фазе развића*** почињу при различитим температурама ваздуха. Доња граница

температуре ваздуха при којој биљке улазе у одређену ***фенолошку фазу*** назива се ***биолошки минимум*** (биолошки минимум, на пример, за почетак раста стрних жита је

обнављање	класање	цветање	млечно	воштано	пуно
вег. у пролеће			зрењ е		
17. март	19. мај	28. мај	21. јун	25. јун	3. јул
температура ваздуха (^oC)					
јануар	фебруар	март	април	мај	јун
-1,5	0,9	5,0	11,6	16,3	19,7
јул	август	септембар	октобар	новембар	децембар
21,1	20,5	16,5	11,2	6,2	1,2

Табела 11.3 Просечни датуми наступања појединих фенолошких фаза озиме пшенице и средње месечне температуре ваздуха t (^oC) у Сомбору за период 1948 - 1970. године

просечно 5 ^oC, кукуруза 10 ^oC а за пасуљ 12 ^oC) и означава се са t_b. При температури ваздуха испод биолошког минимума не долази до угинућа биљке већ настаје само застој у развићу и касније, при повишењу температуре ваздуха, биљка наставља развиће. Температура на којој биљка трпи трајна оштећења назива се ***кардинална тачка минимума*** или критична температура.

У пољопривредној пракси у употреби су две врсте биолошких сума, које су термички показатељи могућности гајења биљака и темпа њиховог развића.

Сума активних температура ваздуха представља суму средњих дневних температура ваздуха, за одређени период, које су изнад биолошког минимума. Она се користи као основни термички показатељ за процену могућности гајења одређене биљке у неком рејону.

Сума ефективних температура ваздуха представља разлику између суме активних температура ваздуха и суме средњих дневних температура ваздуха, за исти период, које су испод биолошког минимума. Сума ефективних температура ваздуха се користи при процењивању темпа развића биљака.

место	обнављање вег. у пролеће	класање	цветање	млечно зрење	воштано зрење	пуно зрење
Сомбор	17. март	19. мај	28. мај	21. јун	25. јун	3. јул
Палић	16. март	24. мај	7. јун	21. јун	29. јун	6. јул
Сента	14. март	19. мај	27. мај	22. јун	30. јун	7. јул
Врбас	17. март	17. мај	28. мај	15. јун	21. јун	4. јул
Нови Сад	15. март	19. мај	25. мај	8. јун	22. јун	4. јул
Кикинда	15. март	25. мај	1. јун	16. јун	23. јун	7. јул
Ј. Томић	11. март	19. мај	25. мај	13. јун	23. јун	1. јул
Зрењанин	16. март	18. мај	28. мај	8. јун	23. јун	1. јул
Вршац	12. март	18. мај	5. јун	18. јун	27. јун	5. јул
Панчево	14. март	18. мај	27. мај	7. јун	19. јун	1. јул
Шид	10. март	17. мај	24. мај	11. јун	18. јун	2. јул
С. Митровица	13. март	19. мај	27. мај	13. јун	23. јун	5. јул
Гладнош	15. март	23. мај	2. јун	11. јун	22. јун	2. јул

Табела 11.4 Просечни датуми наступања појединих фенолошких фаза озиме пшенице у појединим местима Војводине за период 1948-1970. године (Милосављевић и др., 1981)

Задатак 11.2

У табели 11.3 су дати просечни датуми наступања појединих фенолошких фаза озиме пшенице за Сомбор. Користећи податке о средњим месечним температурама ваздуха израчунати суме активних температура ваздуха у појединим међуфазним периодима. За почетак пролећне активности озиме пшенице узети датум када је средња дневна температура ваздуха достигла ≥ 5 ^oC (t_d).

Решење:

При одређивању биолошких сума обично се користи графички метод, те је веома важно да се поступак графичког представљања тока средње месечне температуре ваздуха (сл. 11.2) обави коректно. На ординату се наносе вредности средњих месечних температура ваздуха (1 ^oC одговара 1 cm на милиметарском папиру). На апсцису се наносе датуми (1 дан одговара 1 mm на милиметарском папиру) за период за који се одређује биолошка сума (у овом примеру - од половине фебруара па до почетка августа). Сваки први дан у месецу назначи се дужом цртом, а вредности температуре ваздуха наносе се на средини месеца тако што се за одговарајући датум повуче пуна линија до висине која одговара средњој месечној температури. На графикону се, испрекиданом линијом, обележавају датуми почетка фенолошких фаза (табела 11.3). На горњем крају ове линије се назначава одговарајући датум, а између њих се упише трајање, у данима, појединих међуфазних периода. Средња дневна температура

ваздуха, која одговара почетку сваке фенолошке фазе, се добија у пресеку испрекиданих линија и криве која представља ток температуре ваздуха у изабраном периоду. Такође, између пуних и испрекиданих линија се упише трајање, у данима, временских интервала. Суме активних температура ваздуха потом се добијају нумеричком интеграцијом уз коришћење трапезне формуле.

Сума активних температура ваздуха за период обнављање вегетације у пролеће - класање S_1

$$S_1 = \frac{5,3 + 11,6}{2} \cdot 29 + \frac{11,6 + 16,3}{2} \cdot 30,5 + \frac{16,3 + 16,6}{2} \cdot 3,5 = 728,1 \ ^{o}C$$

Сума активних температура ваздуха за период класање - цветање S_2

$$S_2 = \frac{16,6 + 17,7}{2} \cdot 9 = 154,4 \ ^{o}C$$

Сума активних температура ваздуха за период цветање - млечно зрење S_3

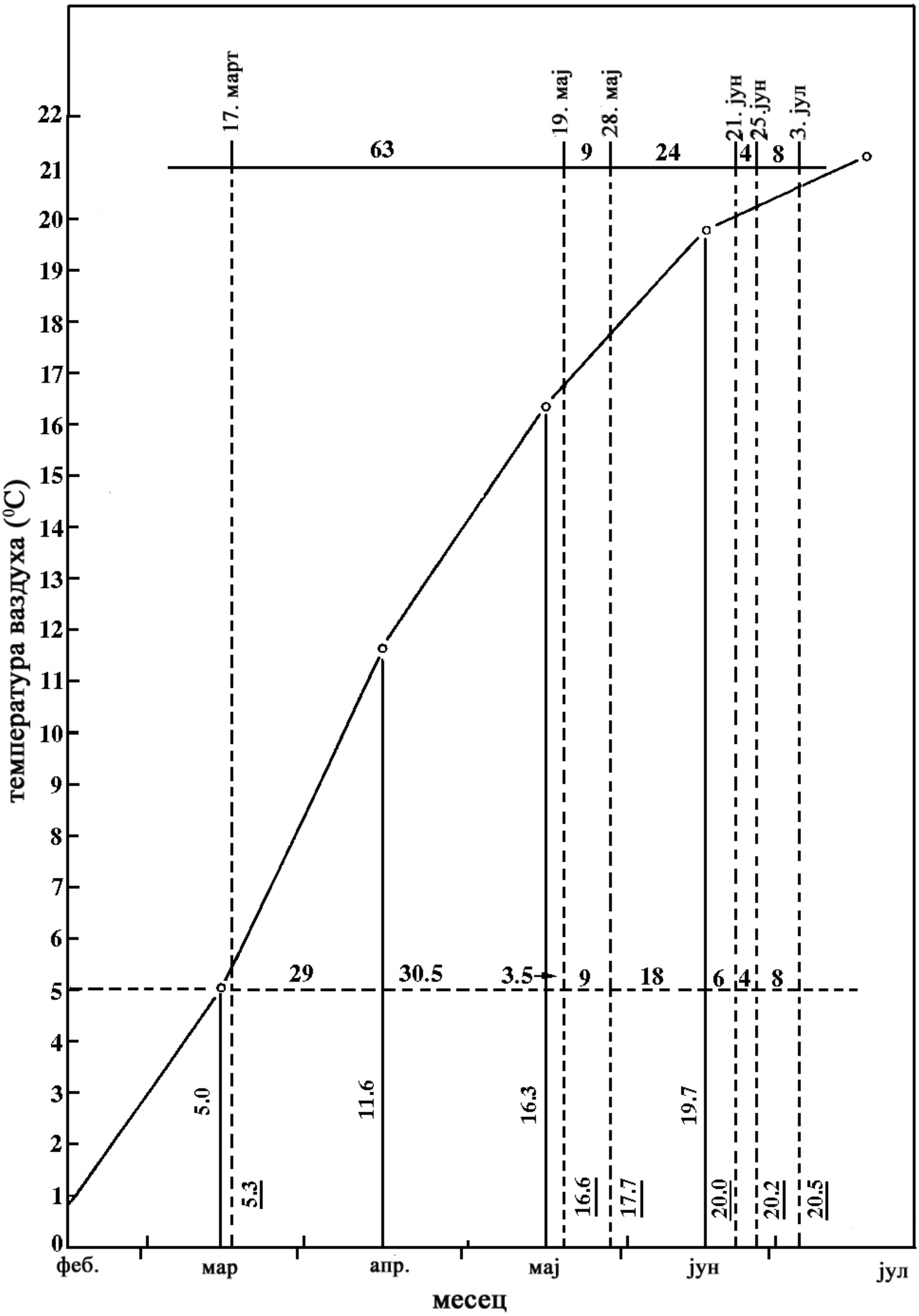
$$S_3 = \frac{17,7 + 19,7}{2} \cdot 18 + \frac{19,7 + 20,0}{2} \cdot 6 = 456,3 \ ^{o}C$$

Сума активних температура ваздуха за период млечно зрење - воштано зрење S_4

$$S_4 = \frac{20,0 + 20,2}{2} \cdot 4 = 80,4 \ ^{o}C$$

Сума активних температура ваздуха за период воштано зрење - пуно зрење S_5

$$S_5 = \frac{20,2 + 20,5}{2} \cdot 8 = 162,8 \ ^{o}C$$



Слика 11.2 Уз одређивање сума активних температура ваздуха током вегетационог периода озиме пшенице

11.4 Хармонијска анализа температуре ваздуха и земљишта

Дневни и годишњи ток температуре ваздуха и земљишта на одређеној дубини, приближно су периодични. Као и свака периодична функција и ови токови могу да се развију у ***Фуријеов ред*** (Fourier). Редови чији су чланови хармонијске функције cos x и sin x, облика

$$F(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left[a_n \cos(nx) + b_n \sin(nx)\right] \qquad (11.20)$$

где су a_n и b_n коефицијенти, који не зависе од независно променљиве x, називају се Фуријеови редови. Развити неку функцију, F(x) у Фуријеов ред значи одредити вредности коефицијената a_n и b_n на основу познатих вредности и особина те функције.

Нека је функција F(x) периодична са периодом од 360°. Нека су познате вредности те функције F_0, F_1, ..., F_{n-1} у тачкама x_0, x_1,…, x_{n-1}, тада је потребно, из ових података, одредити вредности коефицијената у реду (11.20).

Када се у Фуријеов ред желе развити годишњи токови метеоролошких елемената, то се најчешће обавља преко средњих месечних вредности тих елемената, па је познато 12 вредности функције F(x). У том случају Фуријеов ред (11.20) се може редуковати, без уношења велике грешке, на облик:

$$F(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{12} \left[a_n \cos(nx) + b_n \sin(nx)\right] \qquad (11.21)$$

где је са x означен угао који се одређује на основу редног броја дана у години (x = број дана · 360 степени / 365 дана). На пример, ако се прорачун обавља за 5. фебруар који је 36. дан у години (31 дан у јануару и 5 дана у фебруару), онда је вредност x која одгоавара овом дану, $x = 36\frac{360}{365}$, односно 35,5°.

Са обзиром да се годишњи ток температуре ваздуха или земљишта врло мало разликује од хармонијске функције, приликом његовог развоја у Фуријеов ред, може да се, са задовољавајућом тачношћу, заустави на трећем члану,

$$T(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{3} \left[a_n \cos(nx) + b_n \sin(nx) \right] \qquad (11.22)$$

односно,

$$T(x) = a_0 + a_1 \cos(x) + b_1 \sin(x) + a_2 \cos(2x) + b_2 \sin(2x) + a_3 \cos(3x) + b_3 \sin(3x) \qquad (11.22a)$$

Један од начина да се израчунају коефицијенти Фуријеовог реда је и Томпсонов поступак (Thompson) за брзо израчунавање, према којем је:

$$a_0 = \frac{1}{12}\left(T_0 + T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T_7 + T_8 + T_9 + T_{10} + T_{11}\right)$$

$$a_3 = \frac{1}{6}\left(T_0 - T_2 + T_4 - T_6 + T_8 - T_{10}\right)$$

$$b_3 = \frac{1}{6}\left(T_1 - T_3 + T_5 - T_7 + T_9 - T_{11}\right)$$

$$b_1 = \frac{1}{2}\left(T_3 - T_9\right) + b_3 \qquad (11.23)$$

$$a_1 = \frac{1}{2}\left(T_0 - T_6\right) + a_3$$

$$a_2 = \frac{1}{4}\left(T_0 - T_3 + T_6 - T_9\right)$$

при чему се за одређивање коефицијената b_2 користи графички приказ тока функције $T_n(x)$. Са графика се линеарном интерполацијом одреде приближне вредности функције $\overline{T}_1, \overline{T}_3, \overline{T}_5$ и $\overline{T}_7$, које одговарају вредностима независно промењиве x од 45^o, 135^o, 225^o и 315^o. У посматраноом случају то су средње дневне температуре земљишта које одговарају средини фебруара, маја, августа и новембра месеца. Потом се вредност коефицијената b_2 израчунава преко израза

$$b_2 = \frac{1}{4}\left(\overline{T}_1 - \overline{T}_3 + \overline{T}_5 - \overline{T}_7\right) \qquad (11.24)$$

Задатак 11.3

У табели 11.5 дате су вредности средњих месечних температура земљишта, t_z на дубини од 10 cm у Новом Саду за период 1957 - 1980. године. Коефицијенте Фуријеовог

реда одредити Томпсоновим поступком за брзо израчунавање. Написати израз за Фуријеов ред, до трећег члана, за температуру земљишта, $t_z(x)$ на датој дубини.

месец	јануар	фебруар	март	април	мај	јун
$x(^o)$	0	30	60	90	120	150
T_n	T_0	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
	0,7	1,9	5,6	11,5	17,8	21,7
месец	јул	август	септембар	октобар	новембар	децембар
$x(^o)$	180	210	240	270	300	330
T_n	T_6	T_7	T_8	T_9	T_{10}	T_{11}
	23,9	23,5	18,9	12,5	6,8	2,4

Табела 11.5 Средње месечне температуре земљишта t_z (^{o}C) на дубини од 10 cm у Новом Саду на период 1957 - 1980. године

Решење:

За примену Томпсоновог поступка за брзо израчунавање коефицијената Фуријеовог реда потребно је нацртати график годишњег тока температуре земљишта (сл. 11.3). Приликом цртања овог графика средње месечне температуре се уносе на почетку месеца. Заменом, датих и са графика очитаних, вредности температуре земљишта, у изразе (11.23) и (11.24) добијају се тражени коефицијенти Фуријеовог реда:

$a_0 = 12,27\ ^oC$, $a_1 = -11,78\ ^oC$, $a_2 = 0,15\ ^oC$, $a_3 = 0,18\ ^oC$,
$b_1 = -0,72\ ^oC$, $b_2 = 0,15\ ^oC$, $b_3 = -0,22\ ^oC$.

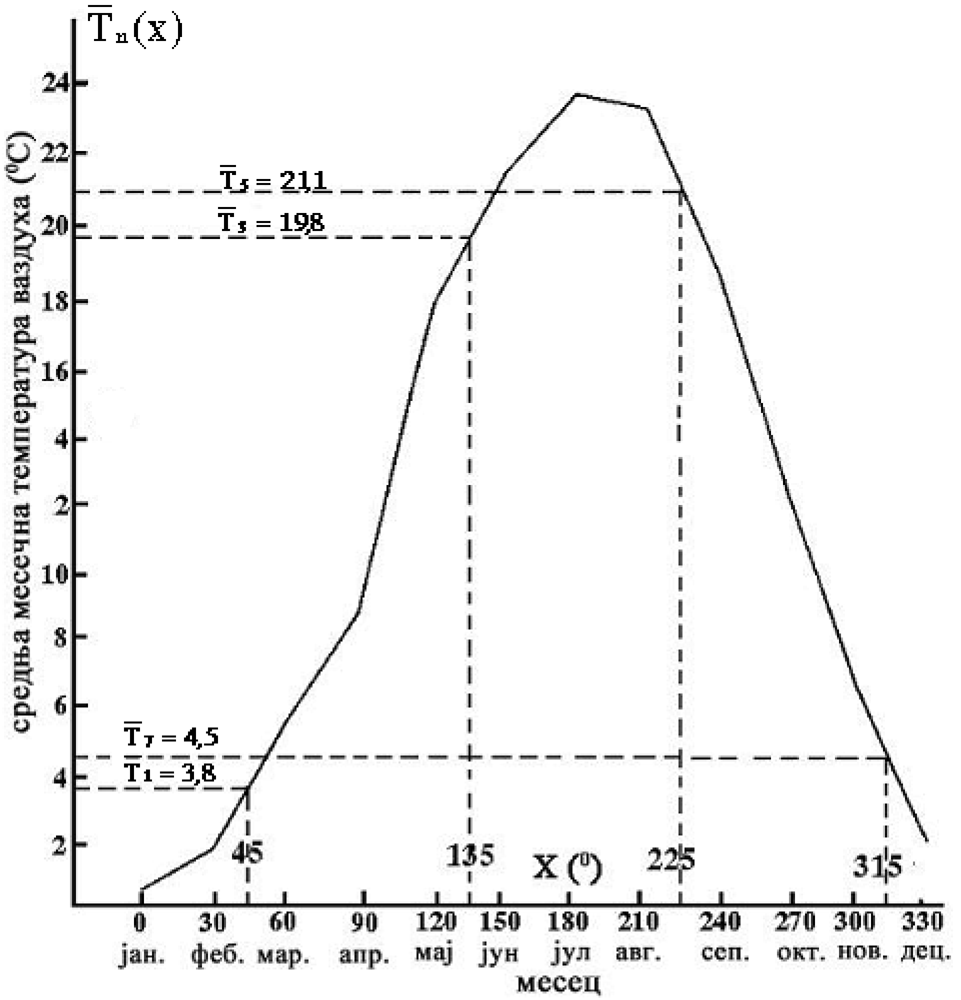
Израз који приближно описује годишњи ток температуре земљишта t_z на дубини од 10 cm, може да се напише у облику

$$t_z(x) = 12,27 - 11,78 \cdot \cos x + 0,15 \cdot \cos 2x + 0,18 \cdot \cos 3x - 0,72 \cdot \sin x + 0,15 \cdot \sin 2x - 0,22 \cdot \sin 3x\,.$$

На основу ове релације може да се израчуна очекивана температура земљишта на посматраној дубини за нпр. 5. фебруар наредне године као

$$t_z(36) = 12,27 - 11,78 \cdot \cos(36) + 0,15 \cdot \cos(2 \cdot 36) + 0,18 \cdot \cos(3 \cdot 36) - 0,72 \cdot \sin(36) + 0,15 \cdot \sin(2 \cdot 36) - \\ - 0,22 \cdot \sin(3 \cdot 36).$$

На крају треба истаћи да се и годишњи ток температуре ваздуха, на висини од 2 m, може представити Фуријеовим редом на исти начин.



Слика 11.3 Годишњи ток температуре замљишта t_z на 10 cm дубине у Новом Саду (уз примену Томпсоновог поступка за брзо израчунавање коефицијента Фуријеовог реда).

11.5 Контролна питања и задаци

1. Како се дефинише средња дневна температура ваздуха?
2. Како се дефинише средња дневна температура земљишта на одређеној дубини?
3. Како се дефинишу средње температуре ваздуха (земљишта) за поједине временске јединице (пентада, декада, месец, вегетациони период, година)?
4. Како се дефинишу средње вредности температуре ваздуха (земљишта) за вишегодишњи низ података за поједине временске јединице?
5. Дефинисати апсолутни максимум (минимум) температуре ваздуха за одређене временске јединице (пентада, декада, месец, вегетациони период, година).
6. Дефинисати дневно и годишње колебање температуре ваздуха.
7. Шта је мраз?
8. Која је идеја у основи методе заштите биљака од мраза путем вештачке кише?
9. Које је елементе потребно познавати да би се биљка могла заштитити од мраза применом методе вештачког кишења?
10. Шта су то биолошке суме?

11. Шта је сума активних а шта сума ефективних температура ваздуха.
12. Како се дефинише кардинална тачка код биљака?
13. Како се може представити годишњи ход температуре ваздуха (земљишта)?

Задатак 11.4

У табели 11.7 дате су вредности температуре ваздуха измерених у 1300 (суви и влажни термометар), 1800 и 2000 часова по СЕВ-у. Користећи методу Михаљевског за прогнозу мраза у наступајућој ноћи и једначину Лангеа за прогнозу минималне температуре ваздуха у наступајућој ноћи, израчунати елементе потребне за заштиту плода паприке од мраза путем вештачке кише. Све остале елементе потребне за израчунавање узети из рачунског примера 11.1.

Задатак 11.5

У табели 11.4 дати су просечни датуми наступања фенолошких фаза озиме пшенице за поједина места у Војводини. Користећи податке о средњим месечним температурама ваздуха (табела 12.3) израчунати суме активних температура ваздуха за поједине међуфазне периоде, у датим местима Војводине. За почетак пролећне активности озиме пшенице узети дан када је средња дневна температура била већа од 5 °C.

	дубина (cm)	месец					
		јануар	фебруар	март	април	мај	јун
1.	2	0,4	2,0	5,8	12,3	18,7	23,4
2.	5	0,6	2,0	5,8	12,0	18,4	22,7
3.	10	0,7	1,9	5,6	11,5	17,8	21,7
4.	20	1,2	2,2	5,4	11,1	17,1	21,0
5.	30	1,8	2,4	5,3	10,8	16,5	20,7
6.	50	3,0	3,1	5,6	10,4	15,5	19,6
7.	100	5,8	4,8	5,7	9,0	12,8	16,6
		јул	август	септембар	октобар	новембар	децембар
1.	2	25,2	24,3	19,0	12,2	6,3	2,0
2.	5	24,5	23,8	19,0	12,4	6,6	2,3
3.	10	23,9	23,5	18,9	12,5	6,8	2,4
4.	20	23,3	23,2	19,0	13,0	7,4	3,1
5.	30	22,8	22,9	19,1	13,5	8,1	3,8
6.	50	22,0	22,5	19,5	14,6	9,6	5,1
7.	100	19,2	20,3	19,1	16,0	12,2	8,3

Табела 11.6 Средње месечне температуре земљишта t_z (°C), на различитим дубинама у Новом Саду за период 1957 - 1980. године (Ач и Михаиловић, 1983)

Задатак 11.6

Користећи податке из табеле 11.6 одредити коефицијенте Фуријеовог реда Томпсоновим поступком за брзо израчунавање и написати израз за Фуријеов ред, до трећег члана, за температуру земљишта, t_z (x), на датој дубини.

	t(°C)	t_1(°C)	t_{18}(°C)	t_{20}(°C)
1.	12,7	5,9	3,0	1,2
2.	10,1	5,7	3,2	1,4
3.	14,0	6,7	3,1	1,3
4.	13,7	8,9	3,3	1,1
5.	13,5	6,1	3,4	1,2

Табела 11.7 Температуре сувог и влажног термометра, t(°C) и t_1(°C), као и температуре ваздуха измерене у 1800 и 2000 часова, t_{18}(°C) и t_{20}(°C) (уз задатак за израчунавање елемената потребних за примену метода заштите од мраза, плода паприке, путем вештачке кише).

место	месец											
	јан.	феб.	мар.	апр.	мај.	јун	јул	авг.	сеп.	окт.	нов.	дец.
Нови Сад	-1,3	1,1	5,7	11,2	16,1	19,8	21,2	20,6	16,7	11,4	6,0	1,4
Палић	-1,6	1,0	5,3	10,9	15,9	19,6	20,9	20,2	16,3	10,9	5,5	0,9
Вршац	-0,3	1,9	6,3	11,6	16,3	19,9	21,2	20,9	17,3	12,2	7,1	2,3
Б. Црква	-0,3	1,9	6,1	11,6	16,5	19,9	21,3	21,2	17,3	11,9	6,7	2,0
Шушара	-1,2	1,2	5,0	10,8	15,8	19,3	20,7	20,3	16,5	11,2	6,1	0,9
Кикинда	-1,6	0,9	5,7	11,2	16,3	19,8	21,2	20,5	16,8	11,3	5,9	1,4
С. Карловци	-0,1	2,0	6,5	11,8	16,5	20,0	21,5	21,2	17,7	12,5	7,0	2,4
Гладнош	-0,9	1,1	5,4	11,0	15,9	19,4	21,0	20,8	17,0	11,5	5,9	1,3
Шид	-0,6	1,8	6,2	11,2	16,0	19,7	21,1	20,6	16,8	11,6	6,4	1,5

Табела 11.8 Средње месечне температуре ваздуха у појединим местима Војводине за период 1952-1981. године.

12

МЕТОДЕ ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ ИСПАРАВАЊА У ПРИРОДНИМ УСЛОВИМА

12.1 Уводне напомене

Процес испаравања у природним условима представља сложен механизам. Инструментално одређивање ***количине испаравања*** није, још увек, решено са задовољавајућом тачношћу. Зато се у пракси прибегава индиректном поступку одређивања количине испаравања, и то:

1) путем емпиријских формула изведених на основу измерених вредности количине испаравања и вредности појединих метеоролошких величина, за које се сматра да највише утичу на испаравање - ***емпиријски метод*** или
2) путем теоријских формула заснованих на: а) једначини топлотног биланса (***метод топлотног биланса***); б) једначини водног биланса (***метод водног биланса***); в) законитостима које описују турбулентну дифузију водене паре (***дифузиони метод***).

У наредним поглављима пажња ће бити посвећена израчунавању количине испаравања у природним условима уз коришћење емпиријског метода.

12.2 Израчунавање испаравања Мајеровом формулом (Mayer)

Помоћу Мајерове емпиријске формуле (Вучић, 1976)

$$W_m = 2{,}25\,(E - e)\,(5 + v) \tag{12.1}$$

могуће је израчунати суме количине испаравања са слободне водене површине W_m у току једног месеца изражене у милиметрима. У формули 12.1 уведене ознаке имају следећа значења: E је средња месечна вредност максималног притиска водене паре; e је средња месечна вредност притиска водене паре и v је средња месечна брзина ветра на висини од 10 m.

Задатак 12.1

У табели 12.1 дате су средње месечне вредности температуре ваздуха t, релативне влажности ваздуха r и брзине ветра v на висини од 10 m у Новом Саду током 1962. године. Користећи Мајерову формулу, израчунати месечне суме количине испаравања W_m и графички приказати њихов годишњи ход. На истом графику приказати и годишњи ход количина испаравања измерених помоћу Вилдеовог W_w, Пишеовог W_p и испаритеља класе A W_a.

месец	t	r	v	W_a	W_p	W_w
јануар	0,5	88,6	3,3			10,7
фебруар	-0,5	82,5	4,4			11,5
март	1,7	84,9	4,8			16,1
април	12,3	66,2	4,8		214,4	103,2
мај	16,9	60,8	3,3	183,4	213,4	104,8
јун	18,4	66,3	2,6	155,6	201,0	101,8
јул	20,2	68,0	2,7	171,5	230,5	99,2
август	22,8	60,3	2,3	220,9	287,6	128,0
септембар	16,4	68,5	2,5	117,9	181,8	89,5
октобар	12,2	70,0	2,6	81,3		56,9
новембар	6,6	86,1	4,5			33,1
децембар	-2,3	86,3	3,6			12,6

Табела 12.1 Средње месечне вредности температуре ваздуха t (^oC), релативне влажности ваздуха r (%), брзине ветра v ($m\ s^{-1}$) на 10 m и месечних сума количине испаравања измерених помоћу испаритеља класе A W_a (mm), Пишеовог W_p (mm) и Вилдеовог испаритеља W_w (mm) у Новом Саду 1962. године.

Решење:

Поступак за израчунавање месечне суме количине испаравања биће приказан на примеру за месец јануар. Из табеле 12.1 види се да је средња месечна температура t = 0,5 ^oC. За ову вредност температуре ваздуха максималан притисак водене паре E износи 6,33 mb (табела 5.3). Надаље, уколико се у обзир узме дефиниција релативне влажности ваздуха, средња месечна вредност притиска водене паре може да се напише у облику

$$e = \frac{r\,E}{100}$$

Заменом одговарајућих вредности добија се да је e = 5,61 mb. Коначно, заменом израчунатих вредности у Мајеровој формули (12.1) налази се да је месечна сума количине испаравања за месец јануар W_m = 13,4 mm. Суме количине испаравања за остале месеце приказане су у табели 12.2. Графички приказ годишњег хода испаравања дат је на слици 12.1.

месец	E	e	W
јануар	6,33	5,61	13,4
фебруар	5,89	4,86	21,8
март	6,91	5,87	22,9
април	14,31	9,47	106,7
мај	19,25	11,70	141,0
јун	21,16	14,03	121,9
јул	23,68	16,10	131,3
август	27,76	16,74	181,0
септембар	18,65	12,78	99,1
октобар	14,21	9,95	72,8
новембар	9,75	8,39	29,7
децембар	5,16	4,45	13,7

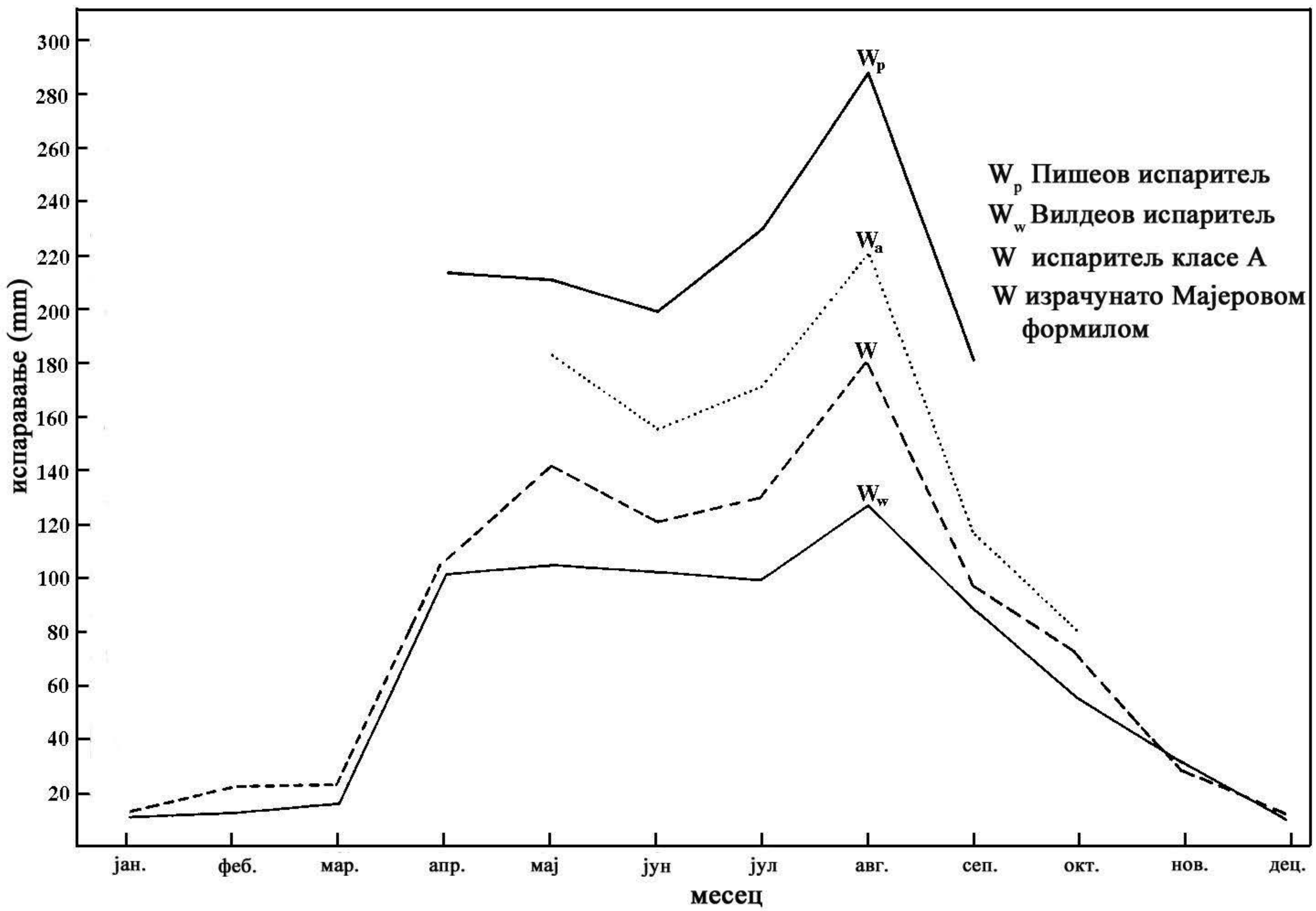
Табела 12.2 Максималан притисак водене паре E (mb), притисак водене паре e (mb), и месечне суме количине испаравања W_m (mm) израчунате Мајеровом формулом на основу података измерених у Новом Саду 1962. године.

12.3 Израчунавање количине потенцијалног испаравања Турковом формулом (Turc)

Помоћу Туркове емпиријске формуле (Вучић, 1976)

$$W_t = k\,(G_d + 209{,}21)\frac{t}{t+15} \qquad (12.2)$$

могуће је израчунати количину потенцијалног испаравања са земљишта под вегетацијом W_t у току једног месеца, израженог у милиметрима. У формули (12.2) уведене ознаке имају следећа значења: k је бездимензиони коефицијент чија вредност износи 0,0956 за све месеце осим за фебруар, када му је вредност 0,0884 или 0 када је



Слика 12.1 Годишњи ход количине испаравања у Новом Саду током 1962. године

средња месечна температура ваздуха нижа од 0 ^oC; t је средња месечна температура ваздуха и G_d (J cm^{-2})је средња сума глобалног зрачења за један дан у изабраном месецу.

У изразу (12.2) појављује се глобално зрачење које се обично, при оваквим израчунавањима (област која није покривена густом мрежом станица на којима се мери глобално зрачење), добија коришћењем неке од емпиријских формула. У тим формулама фигуришу или облачност или трајање сунчевог сјаја - елементи од којих у многоме зависи глобално зрачење.

За област Војводине може се употребити нека од емпиријских формула које су дате у поглављу 10.2.

Задатак 12.2

Користећи Туркову формулу за израчунавање количине потенцијалног испаравања са земљишта под вегетацијом, израчунати месечне и годишње суме количине потенцијалног испаравања за поједина места у Војводини. Средње месечне вредности температуре ваздуха и облачности, за поједина места у Војводини, дате су у табелама 12.3 и 12.4.

Решење:

Израчунавање месечних и годишњих сума количине потенцијалног испаравања биће приказано на примеру за месец април у Новом Саду.

а) Израчунавање глобалног зрачења

При израчунавању средње дневне суме глобалног зрачења биће употребљена емпиријска формула (10.7) у којој фигурише облачност. Такође, потребно је познавати и максимално глобално зрачење у близини Земљине површине G_{d0}. Овај податак се може узети из табеле 10.3. У разматраном случају та вредност износи 2855 J cm^{-2}. Иначе вредност G_{d0} је приближно иста за сва места у Војводини. Надаље, у табели 12.4 налази се да је просечна облачност за април месец у Новом Саду n = 0,58. Заменом одговарајућих вредности у формулу (10.7) добија се да је

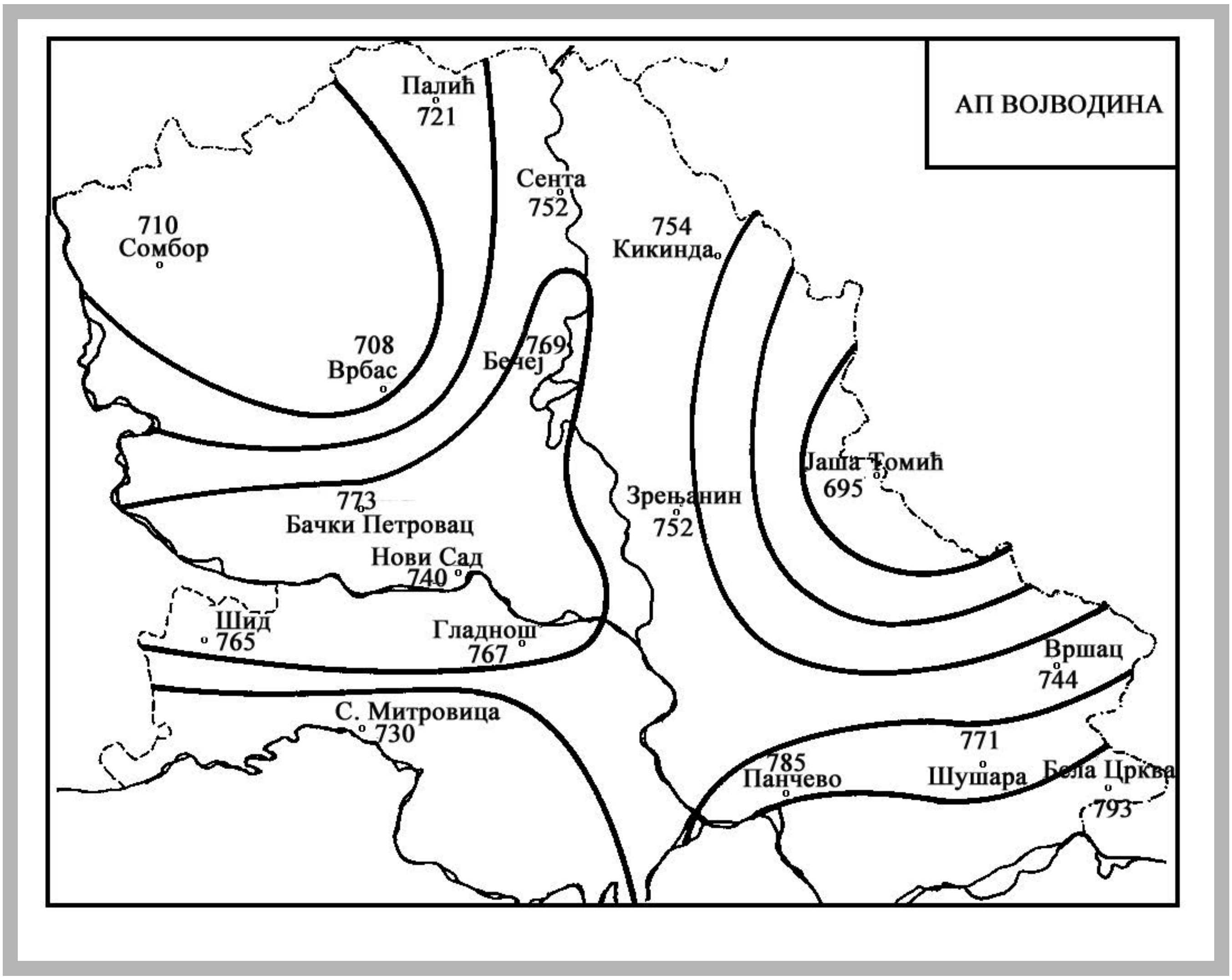
$$G_d = 2855 \cdot (1 - 0{,}89 \cdot 0{,}58) = 1381 \text{ J cm}^{-2}$$

б) Израчунавање потенцијалног испаравања

Користећи формулу (12.2) добија се да је месечна сума количине потенцијалног испаравања W_t за месец април у Новом Саду,

$$W_t = 0{,}0956 \cdot \frac{11{,}6}{11{,}6 + 15} \cdot (1381 + 209{,}21) = 66{,}3 \;\; \text{mm}$$

Истим поступком израчунавају се суме количине потенцијалног испаравања за остале месеце, а на крају се израчуна годишња сума количине потенцијалног испаравања. У овом примеру годишња сума количине потенцијалног испаравања за Нови Сад износи 739,8 mm. Илустрације ради, на слици 12.2 показане су изолиније годишње суме количине потенцијалног испаравања, на сваких 20 mm, за Војводину.



Слика 12.2 Средње годишње суме количине потенцијалног испаравања у Војводини за период 1948-1968. године

место	месец											
	јан.	феб.	мар.	апр.	мај.	јун	јул	авг.	сеп.	окт.	нов.	дец.
Сомбор	-1,5	0,9	5,0	11,6	16,3	19,7	21,1	20,5	16,5	11,2	6,2	1,2
Палић	-1,6	0,4	4,8	11,5	16,2	19,7	21,3	20,0	16,7	11,1	6,0	1,0
Сента	-1,4	0,6	5,2	11,8	16,4	19,9	21,5	21,0	17,2	11,6	6,4	1,3
Бечеј	-1,5	0,7	5,2	11,8	16,5	19,9	21,6	21,1	17,4	11,8	6,4	1,3
Б. Петровац	-1,1	1,1	5,3	11,8	16,4	19,8	21,3	20,7	16,9	11,5	6,7	1,2
Врбас	-1,7	0,5	4,7	11,6	16,5	19,8	21,4	20,9	17,0	11,5	6,2	1,2
Нови Сад	-1,3	0,8	5,0	11,6	16,4	19,8	21,5	21,0	17,1	11,7	6,6	1,4
Кикинда	-1,5	0,3	5,0	11,7	16,6	19,9	21,6	21,0	17,0	11,5	6,4	1,3
Зрењанин	-1,4	0,6	5,0	11,8	16,7	20,0	21,7	21,3	17,4	11,8	6,5	1,4
Јаша Томић	-2,1	0,4	5,9	11,6	16,5	20,2	21,8	21,4	17,5	12,2	7,1	1,6
Шушара	-1,8	0,2	4,5	11,2	15,8	19,5	21,1	20,8	17,1	11,8	6,3	0,5
Панчево	-1,1	1,3	5,3	12,0	16,8	20,2	21,8	21,5	17,6	11,9	6,6	1,8
Вршац	-0,2	1,5	5,5	12,1	16,7	19,9	21,6	21,5	17,8	12,5	7,8	2,5
Бела Црква	-0,5	1,3	5,4	12,0	16,6	19,9	21,7	21,7	17,9	12,3	6,9	2,0
Гладнош	-1,0	1,0	5,1	11,4	16,2	19,6	21,4	21,3	17,6	12,1	6,4	1,3
Шид	-1,1	1,2	5,9	11,5	16,1	19,8	21,4	21,0	17,4	12,1	6,9	1,7
С. Митровица	-0,9	1,1	5,4	11,8	16,4	19,8	21,1	20,7	16,7	11,3	6,6	1,4

Табела 12.3 Средње месечне температуре ваздуха t (^{o}C) у појединим местима Војводине за период 1948-1968. године (Катић и др., 1979)

место	месец											
	јан.	феб.	мар.	апр.	мај.	јун	јул	авг.	сеп.	окт.	нов.	дец.
Сомбор	0,70	0,68	0,63	0,59	0,59	0,55	0,43	0,39	0,44	0,49	0,73	0,77
Палић	0,70	0,66	0,61	0,58	0,56	0,53	0,43	0,38	0,42	0,46	0,72	0,77
Сента	0,70	0,67	0,60	0,56	0,54	0,50	0,40	0,37	0,40	0,45	0,71	0,78
Бечеј	0,64	0,63	0,54	0,53	0,51	0,48	0,41	0,38	0,39	0,45	0,67	0,73
Б,Петровац	0,65	0,63	0,59	0,54	0,52	0,46	0,39	0,35	0,40	0,44	0,69	0,74
Врбас	0,71	0,68	0,62	0,60	0,58	0,55	0,44	0,40	0,44	0,49	0,74	0,78
Нови Сад	0,70	0,67	0,60	0,58	0,56	0,52	0,41	0,37	0,41	0,47	0,72	0,75
Кикинда	0,68	0,65	0,59	0,56	0,54	0,51	0,39	0,36	0,40	0,45	0,69	0,74
Зрењанин	0,70	0,67	0,60	0,56	0,55	0,52	0,41	0,35	0,40	0,46	0,70	0,74
Јаша Томић	0,73	0,73	0,69	0,67	0,63	0,50	0,47	0,44	0,46	0,52	0,75	0,93
Шушара	0,65	0,64	0,57	0,54	0,50	0,47	0,39	0,35	0,34	0,40	0,64	0,77
Панчево	0,70	0,67	0,59	0,55	0,54	0,47	0,38	0,34	0,37	0,44	0,66	0,73
Вршац	0,72	0,70	0,62	0,59	0,58	0,53	0,42	0,39	0,42	0,48	0,70	0,77
Бела Црква	0,67	0,65	0,59	0,55	0,52	0,48	0,38	0,34	0,36	0,42	0,62	0,69
Гладнош	0,68	0,64	0,59	0,56	0,55	0,47	0,39	0,36	0,38	0,44	0,67	0,74
Шид	0,69	0,66	0,58	0,56	0,54	0,48	0,40	0,38	0,39	0,45	0,68	0,72
С, Митровица	0,72	0,67	0,61	0,58	0,57	0,54	0,42	0,37	0,42	0,49	0,71	0,74

Табела 12.4 Средња месечна облачност n у појединим местима Војводине за период 1948-1968. године (Катић и др., 1979)

12.4 Контролна питања и задаци

1. У чему се састоји индиректни поступак одређивања количине испаравања у природним условима?
2. Које се директне методе користе за одређивање количине испаравања у природним условима?
3. За које се природне површине може применити Мајерова формула?
4. За које се природне површине може применити Туркова формула?

Задатак 12.3

Користећи податке из табеле 12.5, помоћу Мајерове формуле израчунати месечне суме количине испаравања W_m у Новом Саду у појединим годинама. Графички приказати годишњи ход испаравања. На истом графику приказати и годишњи ход месечних сума количина испаравња измерених помоћу Вилдеовог, Пишеовог и испаритеља класе А.

Задатак 12.4

Користећи Туркову формулу израчунати месечне суме количине потенцијалног испаравања W_t са земљишта под вегетацијом током вегетационог периода за поједина места у Војводини. Потребни подаци налазе се у табелама 12.3 - 12.7.

месец	t	r	v	W_a	W_p	W_w
јануар	-3,9	87	3,4			14,3
фебруар	0,3	87	4,5			22,0
март	3,9	82	4,6			54,2
април	10,5	68	4,3	112,2		99,7
мај	19,1	64	3,6	182,6		141,8
јун	18,4	78	3,5	122,7	123	71,9
јул	20,4	71	2,8	155,2	157	80,2
август	19,6	76	2,9	144,8	139	67,6
септембар	17,1	77	2,3	101,3	110	55,4
октобар	11,1	73	2,3	75,6	106	54,1
новембар	9,3	75	3,6			56,3
децембар	-2,3	93	3,0			4,3

Табела 12.5 Средње месечне вредности температуре ваздуха t(°C), релативне влажности ваздуха r(%), брзине ветра v на 10 m висине и месечних сума количине испаравања измерених помоћу испаритеља класе А W_a (mm), Пишеовог W_p (mm)и Вилдеовог W_w (mm) испаритеља, у Новом Саду 1969. године.

месец	t	r	v	W_a	W_p	W_w
јануар	-1,0	90	3,6			13,0
фебруар	1,0	86	3,4			16,4
март	5,6	77	4,3			50,3
априлл	11,1	73	3,7	95,6	140	68,2
мај	14,4	72	3,2	117,7	170	83,5
јун	20,4	75	2,3	140,9	147	81,9
јул	20,5	76	1,9	140,2	136	70,7
август	20,5	78	1,6	155,7	130	66,0
септембар	15,8	77	1,9	115,3	113	57,3
октобар	10,2	79	2,4	64,1	88	46,0
новембар	8,2	80	2,5			54,3
децембар	1,2	90	2,5			14,0

Табела 12.6 Средње месечне вредности температуре ваздуха t(°C), релативне влажности ваздуха r(%), брзине ветра v на 10 m висине и месечних сума количине испаравања измерених помоћу испаритеља класе A W_a (mm), Пишеовог W_p (mm)и Вилдеовог W_w (mm) испаритеља, у Новом Саду 1970. године.

месец	t	r	v	W_a	W_p	W_w
јануар	-0,4	91	2,7			11,2
фебруар	2,7	85	5,5			28,7
март	3,3	78	3,3			41,2
април	11,9	68	4,0	120,0	176	88,9
мај	18,6	68	2,2	156,3	213	93,3
јун	19,2	68	2,1	151,7	172	83,2
јул	21,5	59	2,5	205,2	258	121,8
август	22,5	64	2,5	211,8	230	118,1
септембар	14,5	75	2,2	200,5	126	58,1
октобар	9,6	72	2,1			58,3
новембар	6,0	82	3,2			31,2
децембар	2,5	91	3,3			12,5

Табела 12.7 Средње месечне вредности температуре ваздуха t(°C), релативне влажности ваздуха r(%), брзине ветра v на 10 m висине и месечних сума количине испаравања измерених помоћу испаритеља класе A W_a (mm), Пишеовог W_p (mm)и Вилдеовог W_w (mm) испаритеља, у Новом Саду 1971. године

13

ОБРАДА ПАДАВИНА

13.1 Основне дефиниције

Количина падавина за временску јединицу од J дана H_J, представља суму измерених количина воде од падавина у току те временске јединице (дан, пентада, декада, месец и година). Количине падавина се могу одређивати и за неке друге временске интервале, ако се за то укаже потреба. На пример, у пољопривреди то су: вегетациони период, фенолошке фазе, итд.

Средња количина падавина за временску јединицу од J дана и за низ података од K година H_J^K, израчунава се као

$$H_J^K = \frac{1}{K}\sum_{i=1}^{K} H_J^i \tag{13.1}$$

где је са H_J^i означена количина падавина у посматраној временској јединици и-те године.

Апсолутни максимум количине падавина за одређену временску јединицу дефинише се као највећа икада измерена количина падавина у току те временске јединице.

Апсолутни минимум количине падавина за одређену временску јединицу дефинише се као најмања икада измерена количина падавина у току те временске јединице. Апсолутни минимум количине падавина за дан се посебно не одређује будући да је он увек 0 mm.

Годишње колебање месечних количина падавина A_r, је разлика између највеће и најмање месечне количине падавина у току године.

$$A_g = H_{max} - H_{min} \tag{13.2}$$

Релативно годишње колебање падавина A_r, дефинише се као

$$A_r = \frac{H_{max} - H_{min}}{H_g} \cdot 100\% \tag{13.3}$$

где су са H_{max}, H_{min} означене највећа и најмања месечна количина падавина у току године а са H_g годишња количина падавина. Овај параметар се користи за приказивање ***режима падавина*** тј. временског распореда падавина у току године.

Број дана са одређеном количином падавина за временску јединицу од J дана z_J, представља број дана с падавинама, у току те временске јединице, чија вредност не прелази неку граничну вредност. Конвенцијом је усвојено да су те граничне вредности: 0,5 mm, 1 mm, 2 mm, 5 mm, 10 mm, 20 mm и 30 mm. Уколико се ови критеријуми примене на вишегодишњи низ података онда се добија ***средњи број дана са одређеном количином падавина за временску јединицу од J дана и за низ података од K година***, z_J^K у облику

$$z_J^K = \frac{1}{K}\sum_{i=1}^{K} z_J^i , \tag{13.4}$$

где је са z_J^i означен број дана са одређеном количином падавина у посматраној временској јединици и-те године.

Вероватноћа падавина за временску јединицу од J дана w_J, дефинише се као

$$w_J = \frac{z_J}{J} . \tag{13.5}$$

По аналогији са дефиницијом средње количине падавина једначина (13.1), ***и средња вероватноћа падавина за временску јединицу од J дана и за низ података од K година*** w_J^K, израчунава се као

$$w_J^K = \frac{1}{K}\sum_{i=1}^{K} w_J^i \tag{13.6}$$

где је са w_J^i означена вероватноћа падавина у посматраној временској јединици и-те године. Такође, ова величина може да се израчуна и на основу средњег броја дана са одређеном количином падавина z_J^K као

$$w_J^K = \frac{z_J^K}{J}. \tag{13.7}$$

Густина падавина за временску јединицу од J дана i_J, дефинише се као

$$i_J = \frac{H_J}{z_J} \tag{13.8}$$

где је са H_J означена количина падавина за посматрану временску јединицу. ***Средња густина падавина за временску јединицу од J дана и за низ података од K година*** i_J^K, израчунава се као

$$i_J^K = \frac{1}{K}\sum_{s=1}^{K} i_J^s \tag{13.9}$$

где је са i_J^s означена густина падавина у посматраној временској јединици s-те године. По аналогији са изразом (13.8) ова величина може да се израчуна на основу вредности средње количине падавина H_J^K и средњег броја дана са одређеном количином падаваина z_J^K, као

$$i_J^K = \frac{H_J^K}{z_J^K}. \tag{13.10}$$

Задатак 13.1

У Табели 13.1 дате су средње месечне вредности температуре ваздуха T_J^{24}, релативне влажности, r_J^{24} количине падавина H_J^{24} и средњи број дана с падавинама z_J^{24} већим од 0,1 mm, у Новом Саду за период 1948-1971. године. Израчунати: **а)** дефицит засићености d_J^{24}; **б)** густину падавина i_J^{24} и **в)** вероватноћу падавина w_J^{24} за све месеце у години. Графички приказати годишњи ход температуре ваздуха, количине падавина и дефицита засићености.

Решење:

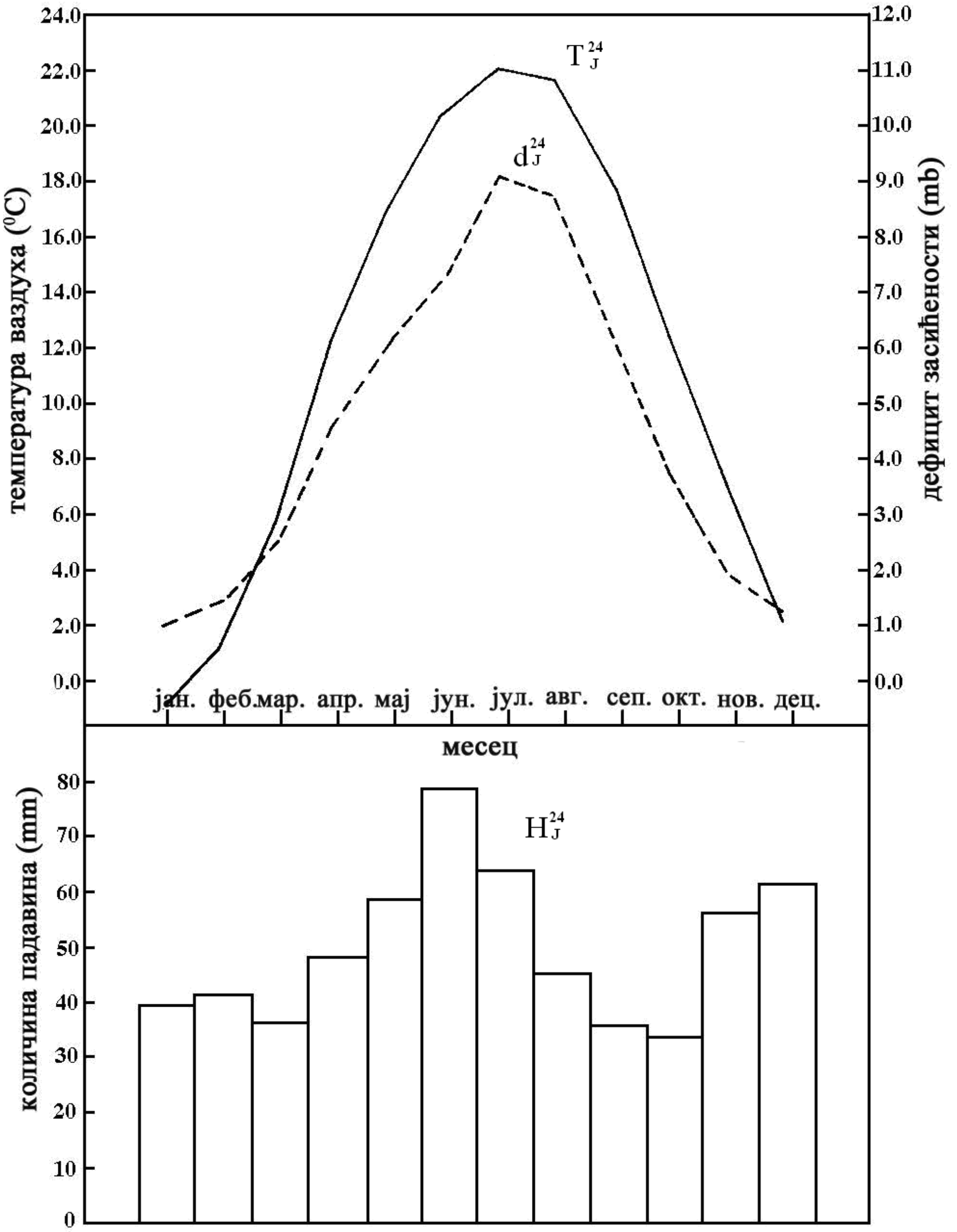
Поступак за израчунавање тражених параметара биће демонстриран на примеру за месец јануар.

а) Користећи се дефиницијама (5.3) и (5.4), после једноставних трансформација, лако се долази до израза за дефицит засићености

$$d_J^{24} = E_J^{24}\left(1 - \frac{r_J^{24}}{100}\right) \tag{13.11}$$

месец	T_J^{24}	r_J^{24}	H_J^{24}	z_J^{24}
јануар	-1,5	86	39	12,3
фебруар	0,7	82	41	11,4
март	5,2	75	36	10,8
април	11,8	69	48	12,1
мај	16,4	69	58	12,0
јун	19,9	70	78	11,9
јул	21,6	66	63	8,9
август	21,1	66	45	7,8
септембар	17,4	70	35	7,5
октобар	11,8	75	33	7,3
новембар	6,4	84	55	13,0
децембар	1,7	87	60	14,4

Табела 13.1 Средње месечне вредности температуре ваздуха T_J^{24} (°C), релативне влажности r_J^{24} (%), количине падавина H_J^{24} (mm) и броја дана са падавинама већим од 0,1 mm z_J^{24} у Новом Саду, за период 1948-1971. године



Слика 13.1 Графички приказ годишњег хода средњих месечних вредности температуре ваздуха T_J^{24}, дефицита засићености d_J^{24} и количине падавина H_J^{24} у Новом Саду за период 1948 -1971. године

У последњем изразу појављује се максимални притисак водене паре E_J^{24}. Његова вредност се одређује из табеле 5.3, уз коришћење одговарајуће температуре ваздуха T_J^{24}. За месец јануар, будући да је T_{31}^{24} = -1,5 °C, максимални притисак водене паре износи E_{31}^{24} = 5,40 mb. Надаље, заменом одговарајућих вредности у (13.11)

$$d_{31}^{24} = 5{,}40 \cdot \left(1 - \frac{86}{100}\right)$$

добија се да је d_{31}^{24} = 0,76 mb.

б) Средња густина падавина за месец јануар i_{31}^{24} израчунава се преко израза (13.10) тј.

$$i_{31}^{24} = \frac{39}{12{,}3} = 3{,}2 \text{ mm/dan}$$

в) Средња вероватноћа падавина за месец јануар w_{31}^{24} се добија преко израза (13.7)

$$w_{31}^{24} = \frac{12{,}3}{31} = 0{,}40$$

Овај поступак се затим примењује за сваки месец а резултати се приказују као у табели 13.2. Годишњи ход средњих месечних вредности температуре ваздуха, дефицита засићености и количине падавина приказан је на слици 13.1

месец	d_m	i_m	w_m
јануар	0,76	3,2	0,40
фебруар	1,16	3,6	0,41
март	2,21	3,3	0,35
априлл	4,29	4,0	0,40
мај	5,78	4,8	0,39
јун	6,97	6,6	0,40
јул	8,78	7,1	0,29
август	8,51	5,7	0,25
септембар	5,96	4,7	0,25
октобар	3,46	4,5	0,24
новембар	1,54	4,2	0,43
децембар	0,90	4,2	0,46

Табела 13.2 Средње месечне вредности дефицита засићености d_J^{24} (mb), густине падавина i_J^{24} (mm/dan) и вероватноће падавина w_J^{24} у Новом Саду за период 1948 - 1971. године

место		Месец											
		јан.	феб.	мар.	апр.	мај.	јун	јул	авг.	сеп.	окт.	нов.	дец.
Нови Сад	z	11,6	11,3	10,6	11,9	11,9	11,9	9,2	8,4	7,9	8,0	12,5	13,6
	r	86	82	74	70	69	69	67	68	72	76	84	87
Палић	z	11,2	11,2	10,5	10,3	12,3	12,3	9,4	7,4	7,2	7,0	13,0	14,1
	r	87	83	75	68	68	68	66	67	71	76	85	88
Сомбор	z	11,3	11,3	11,2	11,6	13,0	13,0	10,2	8,1	8,5	7,6	13,5	14,1
	r	88	84	77	70	70	70	70	72	75	78	85	89
Кикинда	z	12,1	12,0	10,9	11,7	11,9	11,9	9,4	7,9	7,5	6,7	13,5	15,1
	r	87	84	75	70	69	69	67	68	70	75	84	88
Зрењанин	z	12,1	11,8	11,0	11,0	11,2	11,2	9,0	7,5	7,3	6,8	12,7	14,3
	r	87	84	76	70	70	70	67	66	70	74	84	88
Врбас	z	12,1	11,2	11,1	11,7	12,2	12,2	9,1	7,5	7,2	6,8	13,9	15,1
	r	89	86	78	72	71	71	69	70	72	76	86	89
С. Митровица	z	13,4	12,0	11,8	12,1	13,2	13,2	10,1	8,3	8,1	8,1	13,9	14,6
	r	87	84	77	71	73	73	73	73	77	79	85	89
Вршац	z	11,0	11,6	10,0	10,9	12,3	12,3	9,2	8,6	6,5	6,5	12,0	13,6
	r	81	79	70	66	70	70	67	66	66	69	76	82

Табела 13.3 Средњи број дана z са количином падавина већом од 0.1 mm и релативна влажност r (%) за поједина места у Војводини за период 1948-1971. године.

13.2 Суша

Суша представља једну од најштетнијих временских појава која наноси огромне штете разним гранама привреде. Појава суше на већем пространству условљена је нарушавањем нормалне циркулације атмосфере. За сада постоји више хипотеза о физичким разлозима који доводе до нарушавања нормалне циркулације атмосфере. Те хипотезе се могу поделити у две групе и то: оне које полазе од тога да до промене нормалне циркулације атмосфере долази услед промене активности Сунца и оне, које промене разматрају као саморазвијајуће унутар комплекса Земља - океан - атмосфера.

Када су у питања мања подручја, појава и интензитет суше зависе и од регионалних и локалних фактора као што су: ***падавински режим*** тог подручја, количина испаравања, температуре ваздуха, стања земљишта и биљног покривача, итд. У нашој земљи суша није редовна појава мада се чешће, него у другим крајевима, јавља у Војводини.

Могло би се рећи да не постоји општеприхваћена дефиниција суше јер би таква дефиниција морала да обухвата велики броја различитих објеката (земљиште, вегетација, приземни слој ваздуха, водене површине и подземне воде), метеоролошких и хидролошких елемената (количина падавина, влажност ваздуха и земљишта, ниво вода), просторних (мале, мезо и велике) и временских (средње, дуге и сезонске) размера.

Метеоролошка суша је ситуација када се на великој површини јави знатан мањак падавина у односу на средњу количину падавина за то подручје и посматрани период.

Хидролошка суша се јавља ако метеоролошка суша дуго потраје и манифестује са као пад нивоа воде у воденим акумулацијама, језерима, рекама као и пад нивоа подземних вода.

Пољопривредна суша је појава када у вегетационом периоду влажност земљишта и количина падавина нису довољни да се здраве биљке нормално развијају, што може да проузрокује њихово оштећење и/или увенуће. Дакле, са пољопривредне тачке гледишта ***суша*** је комплексна метеоролошка појава која подразумева дуже одсуство подавина када, услед појачаног испаравања, долази до нарушавања водног биланса биљке.

Постоји низ квантитативних показатеља интензитета суше у зависности од критеријума. Величине које се користе саме или у међусобној комбинацији, за

квантитативно одређивање суше јесу: падавине, температура ваздуха, влажност ваздуха, испаравања са слободне водене површине, евапотранспирација, влажност земљишта, ветар, отицање и стање биљака. Будући да су падавине најважнији фактор који утиче на појаву суше то сви критеријуми укључују падавине, било саме, било у комбинацији с другим метеоролошким елементима.

Сви елементи на којима се заснивају критеријуми за одређивање интензитета суше могу да се поделе у следеће групе:

1) количина падавина;
2) количина падавина са средњом температуром ваздуха;
3) влажност земљишта и карактеристике биљке;
4) климатски индекси и сума количине евапотранспирације.

У агрометеорологији се разматрају два типа суше. ***Атмосферска суша*** је појава под којом се подразумева дужи безкишни период праћен високом температуром и ниском влажношћу ваздуха. ***Земљишна суша*** настаје када се услед интензивне евапотранспирације, при атмосферској суши, исуши најпре површински слој земљишта, а ако суша потраје, и дубљи слојеви земљишта у којима се налази корење биљака.

13.3 Одређивање хидротермичког коефицијента током вегетационог периода њивских култура

Дефиниција итензитета суше је тесно повезана са дефиницијом саме суше. С обзиром да не постоји свеобухватна дефиниција суше немогуће је да се на задовољавајући начин и једнозначно дефинише њен интензитет тако да буде применљив на све типове суше. Један, вероватно сасвим задовољавајући, начин да се превазиђе овај проблем јесте да се интензитет суше дефинише као однос количине воде која, на различите начине, долази у посматрани систем (падавине, подземне воде, наводњавање) и воде која одлази из система (евапотранспирација, хоризонтално и вертикално отицање и сл.). Мањкавост оваквог решења лежи у немогућности да се сви релевантни процеси квантитативно опишу на задовољавајући начин. Из тог разлога се често користи велики број различитих емпиријских параметара и коефицијената који описују ову величину (коефицијент Сељанинова (Селянинов), индекс сувоће Де Мартона (de Marton), дефицит падавина и др.).

На овом месту ће да буде детаљније описан хидротермички коефицијент Сељанинова, HTK (Константинов, 1968) који је дефинисан као количник количине падавина и количине евапотранспрације у посматраном периоду. Количина испаравања, у овом случају, се израчунава као једна десетина суме средњих дневних температура ваздуха већих од 10 °C у том периоду, што може да се представи у облику

$$\mathrm{HTK} = \frac{\sum_{i=1}^{J} H_i}{\frac{1}{10}\sum_{i=1}^{J} T_i} . \tag{13.6}$$

С обзиром да у овако дефинисаном коефицијенту фигуришу дневне вредности метеоролошких елемената он може да се користи, за изражавање интензитета суше, како за вегетациони период у целини тако по сезонама или месецима. Друга, не мање значајна предност овог приступа је да су подаци неопходни за његову примену (температуре и количине падавина) најлакше доступни. Евентуалне грешке које се могу појавити приликом примене овог поступка су последица тога што се не узимају у обзир залихе влаге у земљишту, хоризонтално и вертикално отицање, као ни стварна евапотранспирација.

HTK	обележје	HTK	обележје
до 0,5	суво	1,0 - 1,3	недовољно влажно
0,5 - 0,7	врло сушно	1,3 - 1,5	умерено влажно
0,7 - 0,9	сушно	1,5 - 2,0	влажно
		2,0 - 3,0	врло влажно
		> 3,0	прекомерно влажно

Табела 13.4 Модификована климатска класификација Сељанинова за Србију (Otorepec, 1973)

Климатском класификацијом заснованом на употреби хидротермичког коефицијента Сељанинова у нашим крајевима бавила се Оторепец (Оторепец, 1973). У табели 13.4 приказани су резултати те класификације.

Задатак 13.2

У табели 11.3 дати су просечни датуми наступања појединих фенолошких фаза озиме пшенице као и средње месечне температуре ваздуха за Сомбор. У табели 13.5 дате су средње количине падавина у појединим међуфазним периодима озиме пшенице за подручје Сомбора. Израчунати хидротермичке коефицијенте Сељанинова (HTK) у појединим међуфазним периодима.

Решење:

За израчунавање хидротермичког коефицијента Сељанинова (формула 13.5) потребно је познавати суму средњих дневних температура ваздуха већих од 10 ^oC и количину падавина у међуфазном периоду за који се коефицијент израчунава.

место	обнављање вег. у про. - класање	класање-цветање	цветање - млечно зрење	млечно зрење - воштано зрење	воштано зрење - пуно зрење
Сомбор	100	17	34	30	18
Палић	95	30	30	17	14
Сента	104	16	69	19	12
Врбас	91	20	41	14	29
Б. Паланка	112	17	43	12	26
Нови Сад	100	11	33	38	30
Кикинда	106	12	38	18	30
Јаша Томић	110	13	48	27	21
Зрењанин	98	20	26	38	20
Вршац	123	35	36	25	19
Панчево	114	21	31	37	36
Шид	121	16	45	19	36
С.Митровица	109	16	37	22	26
Гладнош	155	25	23	29	26

Табела 13.5 Средње количине падавина у међуфазним периодима озиме пшенице за појединa места у Војводини за период 1948-1971. године (Милосављевић и сар., 1981)

За одређивање сума средњих дневних температура ваздуха већих од 10 ^oC користи се графички поступак који је описан у поглављу 11.3. На овом месту биће приказан пример одређивања ових сума у појединим међуфазним периодима озиме пшенице у Сомбору коришћењем графика са слике 13.2.

Сума средњих дневних температура ваздуха већих од 10 ^oC за период обнављање вегетације у пролеће - класање S_1

$$S_1 = \frac{10,0+11,6}{2}\cdot 7 + \frac{11,6+16,3}{2}\cdot 30,5 + \frac{16,3+16,6}{2}\cdot 3,5 = 558,7\ ^{o}C$$

Сума средњих дневних температура ваздуха већих од 10 ^{o}C за период класање - цветање S_2

$$S_2 = \frac{16,6+17,7}{2}\cdot 9 = 154,4\ ^{o}C$$

Сума средњих дневних температура ваздуха већих од 10 ^{o}C за период цветање - млечно зрење S_3

$$S_3 = \frac{17,7+19,7}{2}\cdot 18 + \frac{19,7+20,0}{2}\cdot 6 = 456,3\ ^{o}C$$

Сума средњих дневних температура ваздуха већих од 10 ^{o}C за период млечно зрење - воштано зрење S_4

$$S_4 = \frac{20,0+20,2}{2}\cdot 4 = 80,4\ ^{o}C$$

Сума средњих дневних температура ваздуха већих од 10 ^{o}C за период воштано зрење - пуно зрење S_5

$$S_5 = \frac{20,2+20,5}{2}\cdot 8 = 162,8\ ^{o}C$$

Уколико се у формулу (13.6) замене одговарајуће вредности за количине падавина у појединим међуфазним перодима (табела 13.5), као и израчунате сума активних температура ваздуха, добијају се следеће вредности хидротермичког коефицијента Сељанинова, HTK:

за период обнављање вегетације у пролеће - класање

$$HTK_1 = \frac{1000}{S_1} = \frac{1000}{558,7} = 1,8 \text{ - влажно}$$

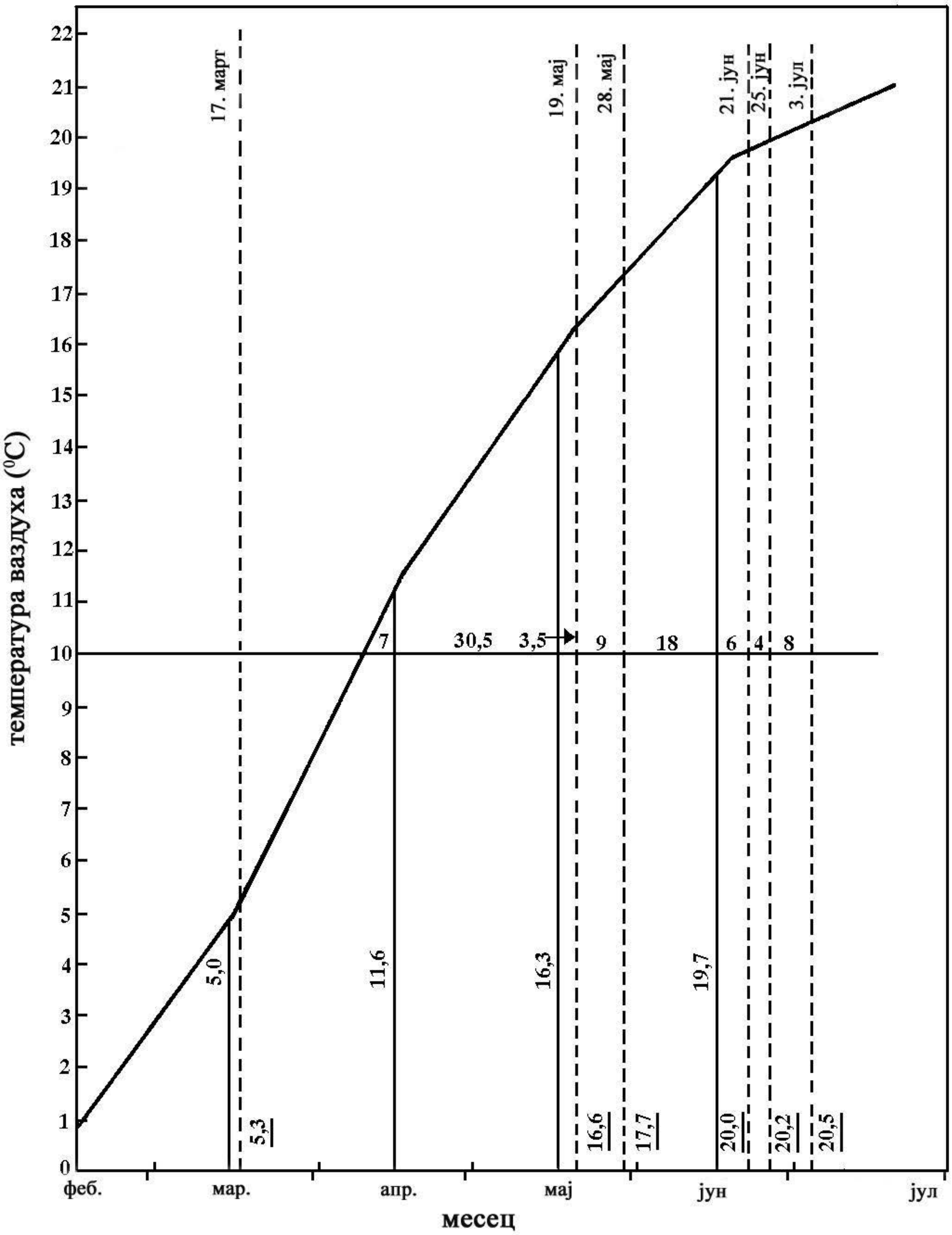
за период класање - цветање

$$HTK_2 = \frac{170}{S_2} = \frac{170}{154,4} = 1,1 \text{ - недовољно влажно}$$

за период цветање - млечно зрење

$$HTK_3 = \frac{340}{S_3} = \frac{340}{456,3} = 0,7 \text{ - врло сушно}$$

за период млечно зрење - воштано зрење



Слика 13.2 Уз израчунавање хидротермичког коефицијента Сељанинова

$$HTK_4 = \frac{300}{S_4} = \frac{300}{80,4} = 3,7$$ - прекомерно влажно

за период воштано зрење - пуно зрење

$$HTK_5 = \frac{170}{S_5} = \frac{170}{162,8} = 1,1$$ - недовољно влажно.

13.4 Дефицит падавина

Један од показатеља интензитета суше је и ***дефицит влаге*** D_v. Дефицит влаге за одређени временски период (обично је то летњи или вегетациони период), дефинише се као

$$D_v = W - (H - K_v) \tag{13.7}$$

где је W - сума потенцијалног испаравања, а H - количина падавина за посматрани период. Коефицијент K_v представља количину влаге акумулирану у простору који заузима коренов система биљака.

За практичне потребе, на пример за допунско наводњавање, често се употребљава један други показатељ познат као ***дефицит падавина*** D_p, који се дефинише као разлика суме потенцијалног испаравања W и количине падавина у посматраном периоду. Очигледно, ова величина може да се израчуна занемаривањем влаге K_v у једначини (13.7) тако да је

$$D_p = W - H \tag{13.8}$$

Вредност првог члана у овом изразу обично се добија употребом различитих емпиријских израза од којих је, чини се, најприхватљивија Туркова формула (једначина (12.2).

Задатак 13.3

Израчунати средњи дефицит падавина у случају обраслог земљишта у Новом Саду, током вегетационог периода, за период 1948-1968. године. Вредности средњих месечних вредности температуре ваздуха t (^{o}C), облачности n и количине падавина H (mm), за поједина места у Војводини, дате су у табелама 12.3, 12.4 и 13.6, редом.

Решење:

Пример израчунавања средњег месечног дефицита падавина биће приказан за месец април. Поступком који је приказан у поглављу 12.3, налази се да средња месечна сума потенцијалног испаравања W износи 66,3 mm, док је средња месечна количина падавина 47 mm (табела 13.6). Према томе средњи месечни дефицит падавина у априлу у Новом Саду за период 1948-1968. године износи 19,3 mm.

место	месец											
	јан.	феб.	мар.	апр.	мај.	јун	јул	авг.	сеп.	окт.	нов.	дец.
Сомбор	39	39	33	51	58	68	65	52	40	35	53	54
Палић	34	32	27	42	52	65	60	42	37	28	55	51
Сента	42	46	35	47	62	71	55	48	38	27	57	60
Бечеј	41	43	33	53	60	69	70	52	41	35	57	67
Б. Петровац	44	49	40	50	59	70	54	51	43	35	60	71
Врбас	36	38	31	47	55	71	61	48	35	30	53	54
Нови Сад	39	43	35	47	57	81	63	47	35	33	56	61
Кикинда	35	40	31	49	49	75	54	50	37	29	53	56
Зрењанин	39	41	34	46	61	76	55	48	35	28	52	59
Јаша Томић	44	44	33	48	66	82	51	47	36	32	50	65
Шушара	47	38	38	53	69	62	65	56	41	31	55	69
Панчево	45	42	41	48	73	93	62	40	45	35	59	60
Вршац	40	42	34	50	74	85	65	65	38	36	58	58
Бела Црква	47	43	39	49	84	89	73	55	38	36	56	60
Гладнош	46	47	37	49	77	80	63	48	36	35	59	71
Шид	40	49	38	56	71	80	70	54	47	40	73	70
С.Митровица	44	44	39	48	63	87	62	41	40	36	60	66

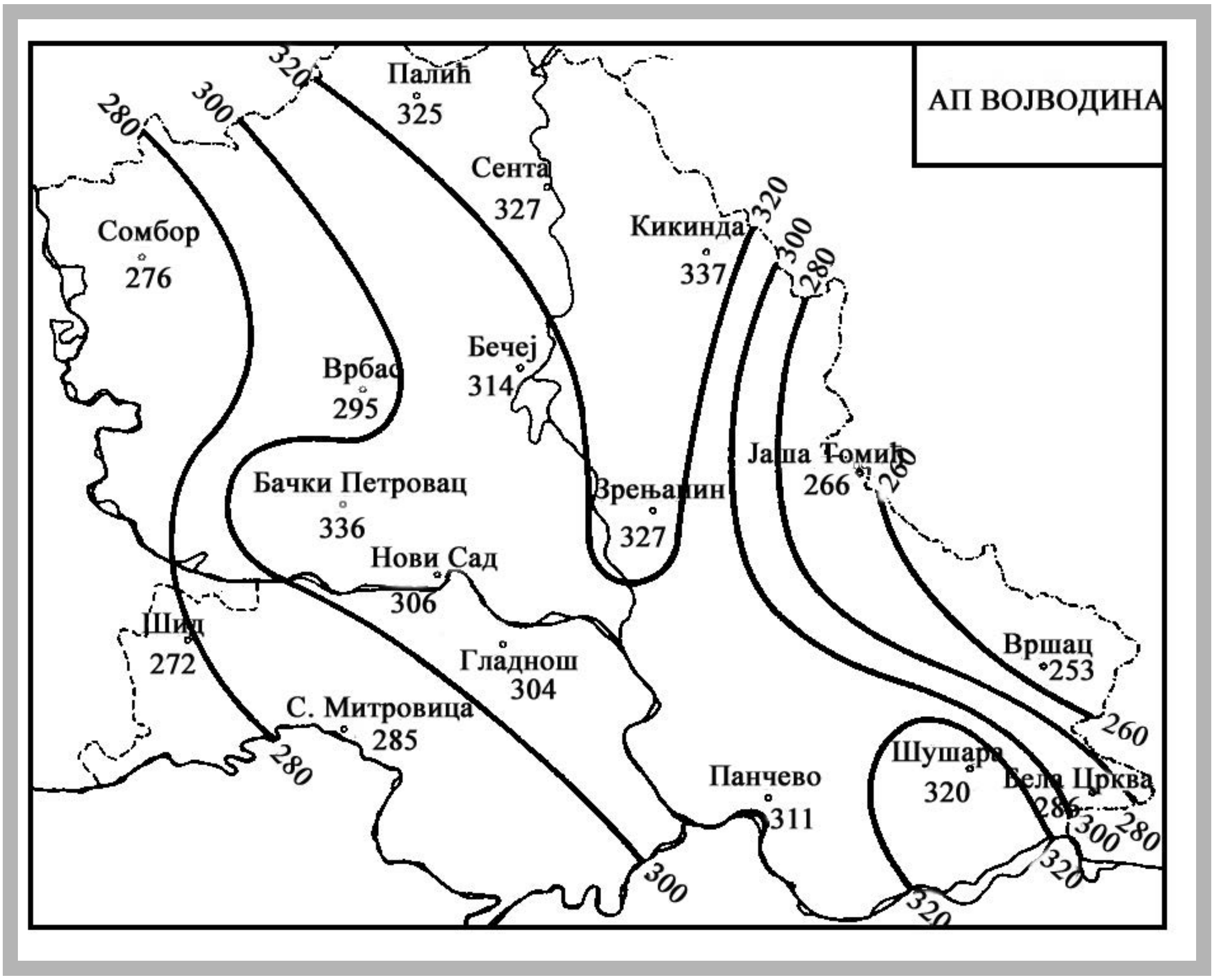
Табела 13.6 Средње месечне количине падавина H (mm) за поједина места у Војводини за период 1948-1971. године (Катић и др., 1979)

Истим поступком израчунавају се средњи месечни дефицити падавина за све остале месеце у вегетационом периоду. Коначно, сабирањем добијених месечних вредности добија се и вредност средњег дефицита падавина у Новом Саду за вегетациони период од 305,7 mm.

Илустрације ради, на слици 13.3 приказане су изолиније средњег дефицита падавина за вегетациони период у Војводини за период 1948-1968. године.

13.5 Контролна питања и задаци

1. Како се дефинише количина падавина за одређену временску јединицу?
2. Дефинисати средњу количину падавина за одређену временску јединицу.
3. Како се дефинише апсолутни максимум (минимум) количине падавина за одређену временску јединицу?
4. Шта је годишње колебање месечних количина падавина?
5. Како се дефинише релативно годишње колебање месечних количина падавина?
6. Шта је број дана са одређеном количином падавина за одређену временску јединицу?
7. Дефинисати вероватноћу и густину падавина за одређену временску јединицу.
8. чиме је условљена појава суше на већем подручју?
9. Од чега зависи појава суше на мањим подручјима (регионална или локална)?
10. Навести и дефинисати врсте суше.
11. Шта је пољопривредна суша?
12. Како се могу класификовати елементи на основу којих се дефинише интензитет суше?
13. Како је дефинисан хитротемички коефицијент Сељанинова?
14. У чему се огледају предности формуле Сељанинова?
15. У чему се огледају недостаци формуле Сељанинова?
16. Како се дефинише дефицит влаге, а како дефицит падавина?



Слика 13.3 Средњи дефицит падавина за вегетациони период у Војводини за период 1948-1968. године

Задатак 13.4

У табели 12.3 дате су средње месечне вредности температуре ваздуха T_J^{24}, у табели 13.3 дете су средње месечне вредности релативне влажности ваздуха r_J^{24} и средњи број дана с падавинама z_J^{24} већим од 0,1 mm, док су у табели 13.6 дате средње месечне вредности количине падавина H_J^{24} за поједина места у Војводини за период 1948-1971. године. Израчунати: а) дефицит засићености d_J^{24}; б) густину падавина i_J^{24} и в) вероватноћу падавина w_J^{24} за све месеце у години. Графички приказати годишњи ход температуре ваздуха, количине падавина и дефицита засићености.

Задатак 13.5

У табели 11.4 су дати просечни датуми наступања појединих фенолошких фаза озиме пшенице; у табели 12.3 су дате средње месечне температуре ваздуха T_J^{24}; у табели 13.5 су дате средње количине падавина у појединим међуфазним периодима озиме пшенице

H_J^{24} за поједина места у Војводини за период 1948-1971. године. Користећи ове податке израчунати коефицијенте Сељанинова НТК у појединим међуфазним периодима.

Задатак 13.6

Израчунати дефицит падавина, током године, за необрасло земљиште за поједина места у Војводини. На карти Војводине нацртати изолиније дефицита засићености на сваких 20 mm. Подаци о средњим месечним вредностима температуре ваздуха T_J^{24}, облачности n и количине падавина H_J^{24} за поједина места у Војводини за период 1948-1971. године дати су у табелама 12.3, 12.4 и 13.6, редом.

14

ОБРАДА ВЕТРА

14.1 Средње честине правца и јачине ветра

На климатолошким станицама свакодневно се, у терминима 0700, 1400 и 2100 час по месном времену, осматрају брзина и правац ветра. После мерења, брзина ветра се прерачунава у јачину ветра изражену у степеновима Бофорове скале уз коришћење израза (9.1) или пак, што је чешће, табличним поступком (табела 14.1). Овако добијени подаци о честини правца и јачини ветра, користе се потом за израчунавање њихових средњих вредности за одређене временске јединице или неки изабрани временски период. Приликом обраде ветра за неку временску јединицу или изабрани временски период од J дана, прво се одеђује укупан број појављивања ветра у тој временској јединици из сваког правца и тишине, N_J. Овом приликом треба нагласити да се појава тишине, приликом обраде, третира као један од праваца ветра.

Честина правца ветра и тишине P_J, за неку временску јединицу или изабрани временски период и дати правац је удео броја појављивања ветра из тог правца N_J, у укупном броју мерења 3J (број 3 означава број осматрања у току дана), изражен у промилима,

$$P_J = \frac{N_J}{3J} 10^3 \ {}^0/_{00} \qquad (14.1)$$

Средња честина праваца ветра и тишине за вишегодишњи низ података одређене временске јединице или изабраног временског периода P_J^K, дефинише се као аритметичка средина честина праваца ветра и тишине те временске јединице у поједдиним годинама,

$$P_J^K = \frac{1}{K}\sum_{i=1}^{K} P_J^i \qquad (14.2)$$

где је са K означен број година у низу. Заменом (14.1) у (14.2) добија се израз за средњу честину праваца ветра и тишине у облику

$$P_J^K = \frac{1}{3KJ}\sum_{i=1}^{K} N_J^i \, 10^3 \; {}^0/_{00} \qquad (14.3)$$

Средња јачина ветра из одређеног правца Q_J, за неку временску јединицу или изабрани временски период дефинише се као аритметичка средина измерених јачина ветра из посматраног правца, q_i

$$Q_J = \frac{1}{N_J}\sum_{i=1}^{N_J} q_i \qquad (14.4)$$

Јачина ветра	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
1	0,8	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,7	1,9	2,0	2,2
2	2,4	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	3,7	3,9	4,1
3	4,3	4,6	4,8	5,0	5,2	5,5	5,7	5,9	6,2	6,4
4	6,7	6,9	7,2	7,5	7,7	8,0	8,2	85	8,8	9,1
5	9,3	9,6	9,9	10,2	10,5	10,8	11,1	11,4	11,7	12,0
6	12,3	12,6	12,9	13,2	13,5	13,9	14,2	14,5	14,8	15,2
7	15,5	15,8	16,2	16,5	16,8	17,2	17,5	17,9	18,2	18,6
8	18,9	19,3	19,6	20,0	20,4	20,7	21,1	21,5	21,8	22,2
9	22,6	22,9	23,3	23,7	24,1	24,5	24,9	25,3	25,6	26,0
10	26,4	26,8	27,2	27,6	28,0	28,4	28,9	29,3	29,7	30,1
11	30,5	30,9	31,3	31,8	32,2	32,6	33,0	33,5	33,9	34,3
12	34,8	35,2	35,6	36,1	36,5	36,9	37,4	37,8	38,3	38,7

Табела 14.1 Однос јачине ветра Q (B) и брзине ветра v (m s^{-1})

година		правац								
		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C
1969	N_J Q_J	14 2,5	0 0,0	4 1,8	23 3,2	5 2,4	6 2,5	26 2,2	15 2,3	0
1970	N_J Q_J	9 3,3	0 0,0	4 1,8	13 2,2	4 1,8	6 1,3	17 2,5	33 2,5	7
1971	N_J Q_J	6 2,2	4 1,5	8 2,1	25 2,4	4 2,2	5 1,2	18 1,7	12 1,8	11
1972	N_J Q_J	12 2,4	3 2,7	9 2,2	24 2,8	10 1,9	2 2,5	18 2,2	9 2,0	6
1973	N_J Q_J	5 2,6	3 1,0	5 1,4	17 2,1	2 2,5	7 1,4	27 1,9	24 2,1	3
1974	N_J Q_J	11 2,6	3 2,0	4 1,8	8 2,2	5 1,2	13 1,9	28 2,1	16 1,9	5
1975	N_J Q_J	8 2,8	7 2,0	4 2,2	20 2,6	1 1,0	8 2,0	23 2,0	10 2,4	12
1976	N_J Q_J	5 2,2	9 2,3	17 2,5	8 2,2	4 1,5	6 1,8	14 2,1	11 1,7	19
1977	N_J Q_J	6 3,0	7 2,0	12 2,8	20 2,2	4 1,5	8 2,0	17 1,8	5 1,6	14
1978	N_J Q_J	11 2,1	6 2,3	12 2,1	19 2,4	2 2,0	6 1,7	20 1,8	15 2,0	2
1979	N_J Q_J	13 2,2	15 2,6	5 2,2	26 2,5	11 2,2	6 1,7	7 1,9	9 1,7	1
1980	N_J Q_J	18 2,6	15 2,4	11 3,0	9 2,6	7 2,4	2 2,0	10 2,0	20 2,1	1
1981	N_J Q_J	3 3,3	5 2,0	26 2,2	24 2,8	6 1,8	3 2,0	13 2,3	13 2,2	0
1982	N_J Q_J	7 1,9	10 2,4	13 1,9	13 1,8	5 1,2	10 1,6	18 1,8	13 1,9	4
1983	N_J Q_J	1 1,0	1 2,0	14 2,1	20 2,2	4 2,0	18 1,9	24 2,0	9 1,6	2

Табела 14.2 Број појављивања ветра из појединих праваца и тишине N_J (горња вредност) и средња јачина ветра Q_J (доња вредност) на Римским Шанчевима у мају месецу у периоду 1969-1983. године

Средња јачина ветра из одређеног правца за вишегодишњи низ података одређене временске јединице или изабраног временског периода, Q_J^K дефинише се као аритметичка средина средње јачине ветра у тој временској јединици у појединим годинама,

$$Q_J^K = \frac{1}{K}\sum_{i=1}^{K} Q_J^i \qquad (14.5)$$

Задатак 14.1

У табели 14.2 дат је број појављивања ветра из појединих праваца и тишине, N_J и средња јачина ветра Q_J (В) на Римским Шанчевима у мају месецу у периоду 1969-1983. године. Одредити: **а)** средње јачине ветра за поједине правце за вишегодишњи низ података Q_J^K и **б)** средње честине праваца ветра и тишине за вишегодишњи низ података P_J^K.

Решење:

Поступак за решење задатка биће приказан на примеру ветра из правца севера.

а) Заменом одговарајућих вредности из табеле 14.2, у израз (14.5) и узимајући у обзир да је K = 15 добија се вредност средње јачине ветра за вишегодишњи низ података

$$Q_{31}^{15} = \frac{36{,}7}{15} = 2{,}5 \text{ В}$$

б) Средња честина ветра из правца севера за вишегодишњи низ података добија се заменом одговарајућих вредности из табеле 14.2, у израз (14.3)

$$P_{31}^{15} = \frac{10^3 \cdot 129}{3 \cdot 15 \cdot 31} = 92{,}5 \ {}^0/_{00}$$

Према томе средња честина ветра из правца севера на Римским Шанчевима за период 1969-1983. године, износи 92 $^0/_{00}$. Ако се исти поступак примени и на ветар из осталих праваца као и на тишину добијају се вредности приказане у табели 14.3.

правац	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C
P_{31}^{15}	92	63	106	193	53	76	200	153	62
Q_{31}^{15}	2.5	1.8	2.1	2.4	1.8	1.8	2.0	2.0	

Табела 14.3 Средње честине P_{31}^{15} ($^0/_{00}$) и средње јачине Q_{31}^{15} (В) ветра на Римским Шанчевима у мају месецу у периоду 1969-1983. године

14.2 Графички приказ честина ветра

Средње честине и средње брзине ветра могу се приказати и графички у виду руже ветрова или "изврнуте" руже ветрова за одређени број праваца. Овакав начин приказивања карактеристика ветра има својих предности и примењује се у појединим метеоролошким дисциплинама, посебно у техничкој метеорологији, а ништа мање и у неким другим дисциплинама примењене метеорологије.

Задатак 14.2

Користећи податке из табеле 14.3 приказати средње честине и средње брзине ветра преко: **а)** "изврнуте" и **б)** руже ветрова од осам праваца за мај месец у Новом Саду.

Решење:

Средња јачина ветра дата у табели 14.3 потребно је да се прерачуна у средњу брзину ветра. Овај поступак могуће је обавити употребом табеле 14.1 или једначине (9.1). На пример, за ветар из правца севера средња јачина ветра је 2,5 B што одговара средњој брзини од 3,3 m s^{-1}. Исти поступак се понови и за остале правце. За графички приказ средњих честина и брзина преко "изврнуте" руже и руже ветрова потребно је претходно извршити нормализацију средњих честина и средњих брзина ветра, у односу на њихове највеће вредности. Ова нормализација се обавља израчунавањем фактора за средњу честину

$$a = \frac{m_1}{P_{max}}$$

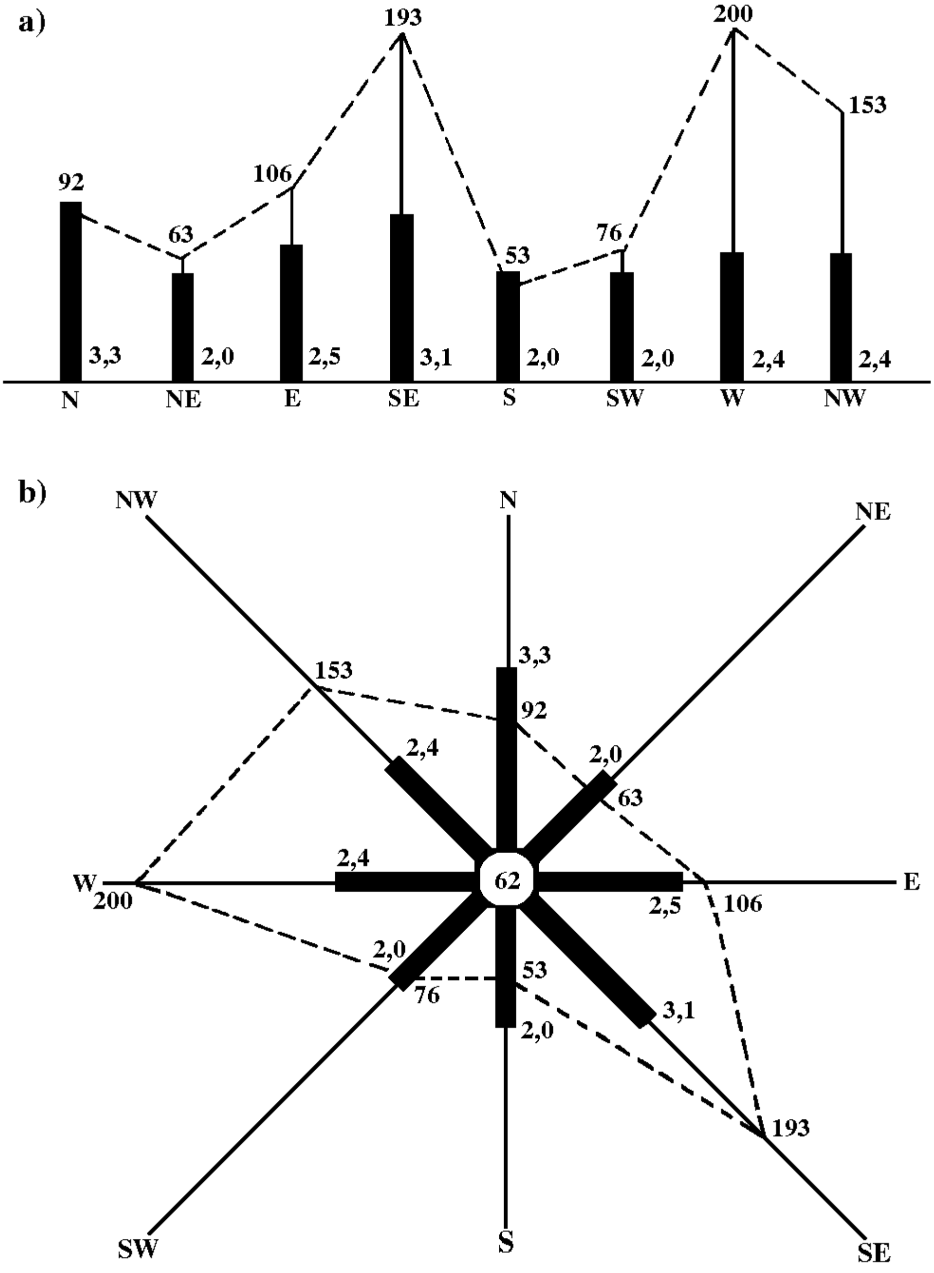
и фактора за средњу брзину

$$b = \frac{m_2}{V_{max}}$$

где су P_{max} и v_{max} максимална средња честина и максимална средња брзина ветра из одређених праваца а m_1 и m_2 су изабране дужине у mm којима ће да буду приказане ове величине.

У овом примеру, максимална средња честина је из правца запада $P_{max} = 200\ ^0/_{00}$ а максимална средња брзина је из правца севера $v_{max} = 3{,}3$ m s^{-1}. Уколико се за изабране дужине узму вредности $m_1 = 50$ mm и $m_2 = 15$ mm онда су вредности фактора $a = 0{,}25$ mm / $^0/_{00}$ и $b = 4{,}55$ mm / m s^{-1}. Затим се овим факторима множе средње честине и средње брзине ветра из осталих праваца чиме се добијају одговарајуће дужине које се уносе на "изврнуту" ружу (сл. 14.1а) и ружу ветрова (14.1б). Треба истаћи да се при оваквом приказивању средњих честина и средњих брзина ветра, средња честина тишине уноси у круг, обично, пречника 10 mm у центру руже ветрова. Притом се

дужине, којима се представљају честине, наносе од центра а дужине, којима се представљају брзине, од ивице круга.



Слика 14.1 Графички приказ честина и средњих брзина ветра преко: а)"изврнуте" руже и б) руже ветрова

месец	правац								
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C
јануар									
P	59	55	132	284	30	51	163	170	57
Q	2,5	2,0	2,2	3,0	1,6	1,8	2,2	2,5	
фебруар									
P	76	45	117	300	49	53	155	162	44
Q	2,1	2,1	2,0	3,3	1,9	1,8	2,3	2,4	
март									
P	67	41	113	314	77	67	148	151	23
Q	2,7	1,8	2,2	3,2	2,3	1,9	2,3	2,5	
април									
P	121	57	90	203	47	57	190	196	39
Q	2,9	2,6	2,3	2,7	2,0	2,2	2,2	2,5	
мај									
P	92	63	106	193	53	76	201	153	62
Q	2,5	1,8	2,1	2,4	1,8	1,8	2,0	2,0	
јун									
P	108	37	78	167	47	81	218	187	76
Q	2,3	1,7	1,7	2,0	1,7	1,7	2,0	2,2	
јул									
P	103	42	60	126	42	72	221	231	103
Q	2,2	1,3	1,9	1,9	1,6	1,6	1,9	2,1	
август									
P	103	49	110	182	30	59	177	166	124
Q	2,1	1,9	1,8	2,1	1,5	1,8	1,9	2,1	
септембар									
P	74	32	99	196	46	70	216	148	119
Q	2,0	1,5	1,9	2,1	1,7	1,9	1,7	2,0	
октобар									
P	71	47	124	252	47	59	184	137	80
Q	2,2	2,0	2,1	2,6	1,9	1,7	1,9	2,0	
новембар									
P	71	39	139	225	50	67	178	145	84
Q	2,4	2,0	2,2	2,7	2,1	1,9	2,0	2,4	
децембар									
P	50	47	128	227	39	48	239	154	66
Q	2,6	1,8	2,4	3,0	1,7	1,9	2,1	2,4	

Табела 14.4 Средње честине P ($^0/_{00}$) и јачине Q (B) ветра на Римским Шанчевима за период 1969 - 1983. године.

14.3 Контролна питања и задаци

1. Како се дефинишу честина правца ветра и тишина за неку временску јединицу или изабрани временски период?
2. Како се дефинише средња честина правца ветра и тишине за вишегодишњи низ података одређене временске јединице или изабраног временског периода?
3. Дефинисати средњу јачину ветра из одређеног правца за неку одређену временску јединицу или изабрани временски период. Како гласи та дефиниција када је у питању вишегодишњи низ података?
4. Како се графички приказују средње честине и брзине ветра из одређених праваца?

Задатак 14.3

У табели 14.4 дате су средње честине P($^0/_{00}$) и средње јачине Q (B) ветра на Римским Шанчевима, у различитим месецима, за период 1969-1983. године. Графички приказати честине и средње брзине преко: **а)** "изврнуте" и **б)** руже ветрова од осам праваца.

15

КЛАСИФИКАЦИЈА КЛИМЕ ПО КЕПЕНУ(KÖPPEN)

15.1 Опште напомене о класификацији климе

Са метеоролошког становишта пожељно је направити класификацију климе узимајући као основу оне физичке факторе који значајно доприносе стварању разлика у климатским карактеристикама појединих региона. Таква класификација би по сложености фактора, имала развојни карактер у физичком смислу али би, сигурно, у неке од издвојених група долазиле, иначе, потпуно различите климе, што би било незадовољавајуће.

Најстарији, а уједно и најраспрострањенији начин је класификација климе по температурним зонама: тропска зона (без зима), поларна зона (без лета) и прелазна зона (једно доба топло или жарко, а друго хладно или студено). Овакав начин класификације је међутим, заснован само на вредностима једног климатског елемента.

Са друге стране, на Земљи постоје одвојени региони у којима је годишњи ход климатских елемената сличан, што значи да су сличне и њихове климатске карактеристике (климатски региони). Отуда је потребно то мноштво климатских региона сврстати, према неким критеријумима, у мањи број (главних) климатских типова. Пожељно је да такав систем сврставања буде квантитативног карактера, то јест да се границе климатских типова одређују коришћењем одговарајућих формула и бројних вредности. Такав је, на пример, систем Кепена (Радиновић, 1981). На овом месту, укратко, биће изложени принципи класификације климе по Кепену.

15.2 Основни принципи класификације климе по Кепену

Основне карактеристике класификације. Према Кепену класификација по климатским типовима врши се на основу два климатска елемента - температуре и падавина, при чему се у обзир не узима географски положај региона у ком влада одређени климатски тип.

За одређивање граница између различитих типова бирају се одређене нумеричке вредности температура и падавина, јер, узети одвојено, ови климатски елементи не могу на сасвим задовољавајући начин да карактеришу климу. На пример, активан утицај падавина на развиће и раст биљака у неком подручју није одређен апсолутном вредношћу количине падавина у току вегетационог периода, будући да се тада са одређеним интензитетом врши и испаравање. Кепенова идеја је била да се у критеријуме унесе годишња количина падавина Н и средња годишња температура ваздуха Т тако да је у њима садржан податак о интензитету испаравања. На пример, за суву климу, где испаравање премашује падавине, према Кепену - Н је мање од 2(Т + 14) cm , ако се ради о летњим падавинама.

Нумеричке вредности за налажење граница климатских типова одређене су према различитим ефектима у биљном, животињском свету и свету човека, везаним за неке карактеристичне вредности температурама и падавина.

Климатолошка формула. Кепен је увео две главне поделе с одговарајућим симболима, чиме је одређена основна климатолошка формула - кратак симболичан опис климе. Климатска обележја су, дакле, замењена једноставним низом слова и обрнуто, из климатолошке формуле, знајући значења употребљених слова, могу да се прочитају климатолошка обележја таквих карактеристичних области. Климатска формула се може проширити, додавањем нових ознака, да би се кратко записала и друга специфична климатска обележја: веома топла лета, појава максимума падавина, итд.

Класификација климе света. Кепеновим системом класификације добија се 11 различитих основних климатских типова. Постоје 5 основних климатских типова (климата), који одговарају главним вегетационим групама: **A** - тропска кишна клима (без хладног дела), **B** - сува клима (испаравање веће од падавина), **C** - умерено-топла кишна клима (са умереном зимом), **D** - хладна снежно-шумска клима (са оштрим зимама), **E** - поларна (ледена) клима (без топлог доба). При томе се у климатским

типовима **A**, **C** и **D** праве разлике према појави кишног периода: **f** - одсуство сушног периода, **s** - суви период у лето, **w** - суви период у зиму (сва три типа се јављају у **C** типу, док се веома ретко јавља у **A** и **D** типу); у климатском типу **B** праве се разлике према степену сувоће - **S** и W степен: **BS** - степска (семиаридна) клима и **BW** - пустињска (аридна) клима; у климатском типу **E** праве се разлике према степену хладноће - **T** и **F** степен: **ET** - тундра вегетација и **EF** - вечити лед. Дакле, укупно има 2(**A**) + 2(**B**) + (**C**) + 2(**D**) + 2(**E**) = 11 климатских типова.

Недостаци Кепеновог система. Кепенов систем има недостатака. Између осталог с овим системом класификује се са свега неколико установљених типова и оштро дефинисаним граничним условима, врши класификација огромног броја локалних клима у свету. На тај начин, на прелазима из једног типа у други нужно се јављају, различито изражена, одступања или неодређености због мешања њихових особина. Такође, када се врши класификација клима на малом подручју, због неузимања у обзир географског положаја, могуће је да се два предела и поред тога што се знатно разликују по особинама континенталности и орографије, сврстају у исти подтип.

15.3 Кепенова климатска класификација примењена на неке земље југоисточне Европе

У нашој земљи распрострањени су **C** и **D** климати, највероватније и климати **B** и **E** (Савић, 1979.). Најраспрострањенији је **Cf** тип са својим многобројним подтиповима, затим (не често изражен) **Cs** тип са неколико подтипова и само подтипови **Cw** типа, а **Df** тип (са **Dfb** подтипом) среће се на највишим планинама. Предпоставља се да се степска подручја **Bs** с јављају у неким пределима на крајњем југоистоку наше земље (Овче Поље), док је хладна клима поларних крајева **Ef** могућа само изнад вегетационе зоне, на највишим планинским врховима, али се не располаже с одговарајућим подацима из ових области да би се могао дати поуздан суд.

Коришћењем табеле 15.1 веома лако се, за неку станицу у нашој земљи за који су дате средње месечне температуре ваздуха, могу одредити први и трећи симбол у климатолошкој формули. За наше крајеве то могу бити симболи: **C**, **D**, **a** и **b**. Из датих средњих месечних количина падавина, коришћењем табеле 15.2, може се одредити да

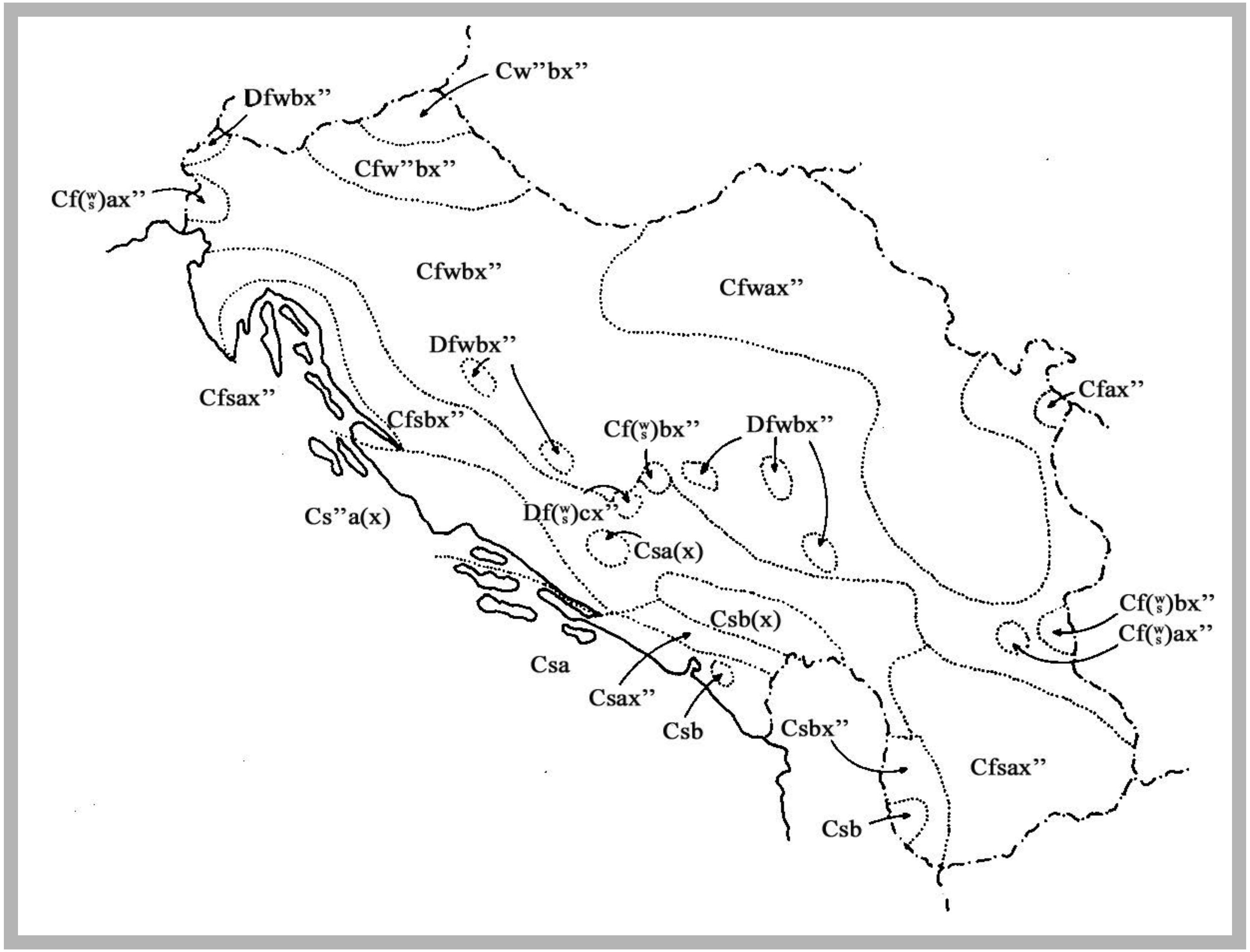
ли се ради о **f** или **s** типу (**w** тип се код нас не јавља), што је углавном случај.

s	w	f
суво лето, минимум падавина у лето H^{l}_{min}	сува зима, минимум падавина у зиму H^{z}_{min}	без сушног доба, равномерна расподела падавина
$3\,H^{l}_{min} \leq H^{z}_{max}$ ($H^{l}_{min} \leq 30$ mm)	$10\,H^{z}_{min} \leq H^{l}_{max}$	H^{min} већи него H^{max} за w и s

Табела 15.1 Табела за коришћење података о средњим количинама падавина (други основни симбол у климатолошкој формули - мало писано слово

поредак симбола у климатолошкој формули	климат		подтип			
	први симбол (велика штампана слова)		трећи симбол (мала писана слова)			
симбол	C	D	a	b	c	d
температурни податак који се користи при класификацији климе	умерено топли - кишни	умерено-хладни (бореални) влажни (снежно-умски)	веома топло лето	топло лето	свеже кратко лето	веома хладна зима
средња температура најхладнијег месеца	> -3 °C < +18 °C	< -3 °C	≥ -38 °C			<-8 °C
средња температура најтоплијег месеца	≥ 10 °C		> 22 °C	> 10 °C < 22 °C		
период са температуром ≥ 10 °C			више од 4 месеца		1 до 4 месеца	

Табела 15.2 Табела за коришћење података о средњој температури ваздуха при класификацији климе по Кепену (C и D тип).



Слика 15.1 Просторна расподела климатских типова у неким земљама Југоисточне Европе по Кепеновој класификацији климе (Савић, 1979).

На слици 15.1, приказани су климатски типови заступљени у појединим државама Југоисточне Европе по Кепеновој класификацији климе.

На једном примеру биће демонстриран поступак за одређивање климатолошке формуле по Кепеновом систему класификације климе.

Задатак 15.1

Дати су метеоролошки подаци о средњим месечним вредностима температуре ваздуха (t) и количине падавина (H) за место Берковићи (Босна и Херцеговина) (табела 15.3). Потребно је одредити климатолошку формулу за ово место према Кепеновом систему класификације климе.

Решење:

Подаци показују да је $t_{min} = 2.9\ ^oC$, а $t_{max} = 23.2\ ^oC$. Према табели 15.2, први симбол је C, а трећи a. Подаци показују да је $H^{z}_{max} = 165\ mm$, што је веће од $3 \cdot H^{l}_{min} = 3 \cdot 34\ mm = 102\ mm$. Из табеле 15.1 види се да је други симбол s. Надаље, максимум падавина је у пролеће (март), док је секундарни максимум, већи од примарног, у јесен (октобар) што значи да се у формулу може ставити додатна ознака x" (табела 15.4).

месец	јан.	феб.	мар.	апр.	мај.	јун
H T	108 2.9	104 3.0	120 6.4	103 10.4	102 15.5	76 20.4
месец	јул	авг.	сеп.	окт.	нов.	дец.
H T	38 23.2	34 22.4	88 16.5	205 11.5	205 6.9	165 3.3

Табела 15.3 Средње месечне температуре ваздуха t(^{o}C) и средње месечне количине падавина H (mm) у Берковићима (Босна и Херцеговина) за период 1925-1940 и 1946-1958. године

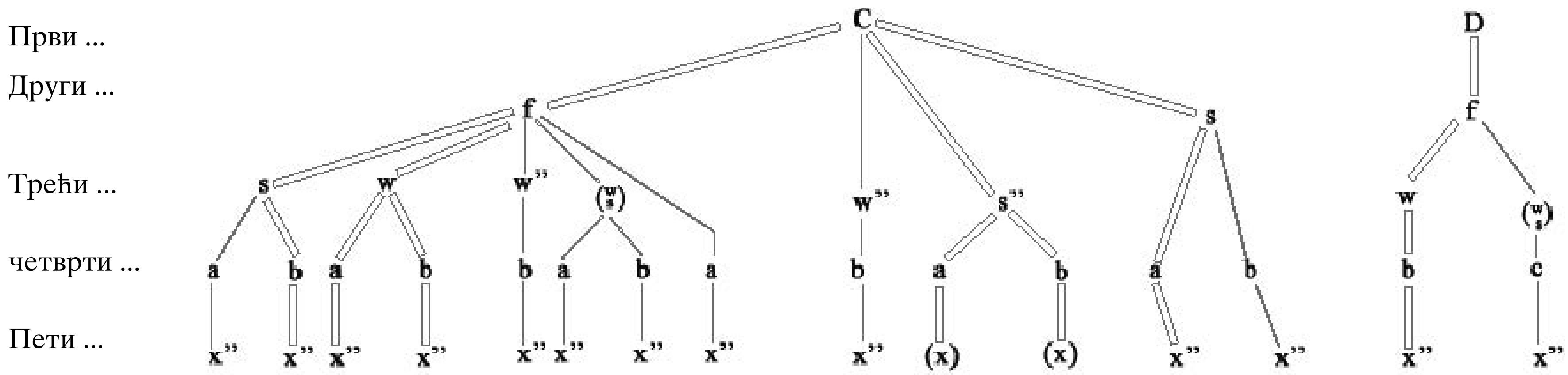
Произилази да је климатолошка формула за станицу Берковићи, Csax". Користећи табелу 15.4 може се закључити да се Берковићи налазе у умерено-топлом кишном климату (C) са сувим (s) и веома топлим летом (a), при чему је температура ваздуха у најтоплијем месецу виша од 22 ^{o}C. Место Берковићи, више од четири месеца, има температуру ваздуха изнад 10 ^{o}C, с израженим пролећним и јесењим максимумом падавина (x"), што га разликује од Csa подтипа. На основу географског положаја (ниска Херцеговина) може се закључити да клима овог места подлеже утицају Јадранског мора.

15.4 Контролна питања и задаци

1. Који је начин класификације климе најједноставнији?
2. На основу којих климатолошких елемената се обавља класификација климе по Кепену?
3. Шта су то климатолошке формуле?
4. Чиме се могу допунити климатолошке формуле?
5. Колико основних климатских типова постоји по Кепеновом систему класификације?
6. Колико главних климатских типова (климата) постоји по Кепеновом систему класификације?
7. Чему одговарају главни климатски типови?
8. Који су недостаци Кепеновог система класификације климе?
9. Који су климатски типови најраспрострањенији у Србији?

Задатак 15.2

У табели 15.5 дате су средње месечне температуре ваздуха t и средње месечне количине падавина H за поједина места југоисточне Европе, за период 1925-1940 и 1946-1958. године. Узимајући пет различитих места и одговарајуће податке, одредити климатолошку формулу за свако место од изабраних места према Кепеновом систему класификације климе.



симбол	значење симбола	ознака	значење додатних ознака	
s”	поред летњег минимума падавина јавља се и секундарни минимум у рано пролеће	x	максимална висина падавина у пролеће или рано лето (март до јуна)	ведро позно лето
w”	кишни период у лето подељен у два максимума	x”		секундарни максимум падавина у јесен (може бити већи од примарног)
(w/s)	мешање утицаја континента и мора (прелаз од маритимне ка континенталној клими)	(x)	веома слабо изражен секундарни максимум падавина у пролеће	
fs	равномерно расподељене падавине са најмањом количином у летњим месецима			
fw”	равномерна расподела падавина са два максимума и сувљом зимом од лета			
fw	најраспрострањенији подтипови ??			

Табела 15.4 Климатски подтипови типова C и D по Кепеновој класификацији климе (поредак симбола)

место		месец											
		јан.	феб.	мар.	апр.	мај.	јун	јул	авг.	сеп.	окт.	нов.	дец.
Република Словенија													
1.Ајдовшчина	H	120	102	124	115	136	151	111	118	162	173	185	129
	T	1,6	4,0	7,4	11,6	16,0	19,4	22,2	21,5	18,2	13.4	8,6	5,2
2. Блед	H	101	98	110	123	128	157	151	145	149	180	177	112
	T	-1,6	0,0	4,1	8,2	13,7	17,2	19,1	18,2	14,9	9,5	4,8	-0,3
3. Брежице	H	57	58	60	64	106	115	89	94	97	111	96	77
	T	-0,3	0,9	5,0	10,8	15,3	19,0	20,6	19,8	16,1	10,5	6,0	0,8
4. Цеље	H	60	54	56	74	113	122	123	111	119	121	104	72
	T	-0,9	-0,1	4,4	9,5	14,2	18,0	19,8	18,5	14,9	9,6	5,3	0,2
5. Голник	H	88	85	90	113	131	157	129	133	159	165	161	98
	T	0,8	0,4	4,2	9,1	13,5	17,1	19,1	18,2	14,4	9,3	4,5	0,3
6. Грм Ново место	H	76	63	68	80	129	129	105	112	120	139	115	83
	T	-1,1	0,3	4,7	9,9	14,7	18,1	19,9	18,8	15,2	9,9	5,6	0,4
7. Кочевје	H	96	96	96	97	138	140	103	130	157	172	154	113
	T	-1,8	0,7	3,2	8,3	12,8	16,8	18,4	17,5	13,8	8,7	4,5	-0,5
8. Крањска Гора	H	115	117	125	161	157	169	159	159	158	189	212	129
	T	-3,1	-2,3	1,3	6,2	11,2	14,4	16,8	16,3	12,5	7,0	2,4	-2,3
9. Љубљана	H	81	75	79	105	124	131	122	132	141	142	131	96
	T	-1,4	0,4	4,7	9,8	14,2	18,0	19,8	18,8	15,2	9,8	5,2	0,0
10. Локе при Зид,мосту	H	66	60	64	81	120	128	102	107	115	137	113	74
	T	0,7	1,3	5,2	10,1	14,3	17,8	19,8	19,1	15,8	10,5	6,1	1,1
11. Марибор	H	47	49	51	71	107	119	109	112	104	106	90	66
	T	-1,4	0,1	4,4	9,8	14,4	17,9	19,9	18,8	15,2	9,6	5,1	0,2
12. Планина при Ракеку	H	133	123	134	133	165	159	146	153	180	208	201	149
	T	-1,0	0,1	3,9	8,9	13,4	17,3	19,1	18,3	15,1	10,0	5,5	0,7
Република Хрватска													
13. Цриквеница	H	106	89	94	89	109	91	69	83	125	171	174	120
	T	5,9	5,9	9,0	13,1	17,4	21,5	24,1	23,5	20,0	14,8	10,9	7,1
14. Дарувар	H	53	58	57	68	100	113	69	74	65	100	86	75
	T	0,9	1,2	5,8	11,1	15,5	18,8	21,2	20,1	16,5	10,9	6,4	1,5
15. Дубровник	H	136	105	114	93	74	52	17	41	125	172	202	160
	T	8,6	8,6	10,3	13,7	17,9	21,9	24,6	24,5	21,5	17,3	13,7	10,1
16. Госпић	H	112	108	108	106	110	92	66	72	105	174	192	149
	T	-1,8	-1,0	3,3	8,6	13,0	16,8	19,0	18,3	14,5	8,9	5,2	0,2
17. Хвар	H	72	66	53	54	45	30	23	29	46	75	95	103
	T	8,8	8,4	10,7	14,0	18,2	22,5	25,5	24,8	21,8	17,7	14,0	9,8
18. Кленовник	H	59	58	54	71	107	103	102	94	92	113	88	75
	T	-0.6	0,3	5,6	10,9	15,3	18,9	20,9	19,7	16,5	10,7	6,2	0,9

Табела 15.5 Средње месечне температуре ваздуха t (^oC), и средње месечне количине падавина H (mm), за поједина места југоисточне Европе за период 1925-1940 и 1946-1958. године (Савић, 1979).

место		месец											
		јан.	феб.	мар.	апр.	мај.	јун	јул	авг.	сеп.	окт.	нов.	дец.
19. Копривница	Н	63	60	54	62	98	96	86	80	80	98	91	66
	Т	-1,0	0,5	5,2	10,6	15,2	18,7	20,6	19,4	15,7	10,5	6,0	0,7
20. Крижевци	Н	47	47	45	58	84	91	86	77	75	87	83	60
	Т	-1,2	0,2	4,8	10,4	15,1	18,7	20,5	19,3	15,4	9,8	5,5	0,8
21. Огулин	Н	114	108	114	108	152	112	92	107	135	175	162	137
	Т	-0,5	0,9	4,8	10,0	14,5	18,4	20,3	19,4	15,8	10,2	6,2	1,4
22. Осијек	Н	43	47	44	51	76	83	54	57	49	72	61	56
	Т	-0,6	1,0	5,8	11,8	16,6	20,1	22,2	21,1	17,3	11,3	6,6	1,2
23. Пула	Н	55	52	55	50	56	46	37	42	80	96	113	63
	Т	5,5	5,0	8,1	11,9	16,6	20,8	23,6	23,1	19,5	14,4	10,5	6,7
24. Раб	Н	92	76	84	74	39	79	49	45	131	144	151	112
	Т	6,9	7,1	9,1	12,8	17,2	21,3	24,2	23,6	20,4	15,6	11,9	8,0
25. Сењ	Н	96	89	113	98	109	100	69	75	138	171	157	108
	Т	5,5	6,2	9,0	12,7	17,5	21,8	24,6	23,6	20,7	15,1	11,0	6,6
26. Сињ	Н	102	88	88	80	116	90	55	52	95	151	173	152
	Т	3,2	4,2	6,6	11,6	15,2	20,9	22,9	22,5	18,5	13,1	8,7	4,3
27. Сл. Пожега	Н	44	49	42	52	83	90	58	69	58	87	75	62
	Т	-0,8	0,5	5,2	10,7	15,5	19,0	20,9	20,1	16,4	10,5	6,2	0,8
28. Сл. Брод	Н	44	46	45	53	81	98	62	67	56	81	74	66
	Т	-0,7	1,0	6,1	11,8	16,4	19,8	22,0	21,1	17,4	11,8	6,8	1,2
29. Сплит	Н	69	63	54	56	65	46	26	35	71	97	111	115
	Т	7,3	7,7	10,1	14,1	18,6	22,9	26,3	25,5	21,8	16,8	12,7	8,7
30. Шибеник	Н	75	70	54	56	65	51	44	31	78	88	122	115
	Т	6,2	6,4	8,9	12,7	16,8	20,9	23,5	23,1	19,6	14,9	11,0	7,6
31. Вела Лука	Н	107	88	82	77	54	29	20	20	43	105	156	133
	Т	7,9	8,0	10,5	14,0	18,3	22,6	25,1	24,8	21,2	16,6	13,1	9,2
32. Загреб	Н	54	52	49	58	93	90	77	79	82	95	87	62
	Т	0,5	2,3	6,8	12,1	16,3	19,9	22,0	21,2	17,7	11,8	7,2	2,0
Босна и Херцеговина													
33. Бања Лука	Н	66	64	73	90	105	121	66	78	85	109	101	89
	Т	-0,7	0,6	6,0	11,4	15,8	19,5	21,9	20,8	16,7	10,8	6,9	0,7
34. Берковићи	Н	108	104	120	103	102	76	38	34	88	205	205	165
	Т	2,9	3,0	6,4	10,4	15,5	20,4	23,2	22,4	16,5	11,5	6,9	3,3
35. Бихаћ	Н	72	90	79	86	124	103	77	81	101	134	150	106
	Т	0,4	1,0	5,7	11,1	15,5	19,4	20,8	19,2	14,9	10,1	6,6	3,0
36. Бијељина	Н	46	51	48	62	81	90	61	68	76	76	64	62
	Т	-0,5	1,0	5,2	11,4	16,1	19,9	20,8	19,8	16,3	10,0	6,5	1,4
37. Бјелашница	Н	109	82	137	127	127	92	90	94	129	155	134	116
	Т	-6,4	-7,3	-5,2	-1,3	3,3	7,7	11,1	10,8	7,8	3,4	-0,5	-5,1

Табела 15.5 (Наставак)

место		месец											
		јан.	феб.	мар.	апр.	мај.	јун	јул	авг.	сеп.	окт.	нов.	дец.
38. Б. Грахово	H	100	92	83	88	103	90	58	60	100	131	175	169
	T	-1,5	0,1	2,1	7,4	13,3	15,7	18,7	18,1	14,6	9,0	5,0	0,4
39. Бутмир	H	69	69	62	66	82	80	54	74	72	93	89	83
	T	-2,2	0,5	4,2	9,9	14,2	17,4	20,5	19,2	15,4	11,0	6,3	-0,4
40. Јајце	H	46	53	52	60	90	92	66	81	71	91	89	67
	T	-0,8	1,1	5,5	10,5	14,4	17,4	19,7	18,9	15,7	10,7	7,0	1,7
41. Калиновик	H	80	88	81	91	118	92	54	67	79	134	161	116
	T	-1,8	-1,9	2,2	6,6	11,5	14,8	16,6	15,9	12,7	7,1	4,0	-0,1
42. Ливно	H	73	67	71	77	69	74	58	52	78	115	149	122
	T	-0,1	-0,2	3,8	8,8	13,5	17,3	20,1	19,3	15,6	10,1	5,8	1,7
43. Приједор	H	56	74	63	84	122	102	78	62	85	100	110	89
	T	-1,3	0,1	4,4	10,9	15,2	18,6	20,9	19,5	16,0	11,0	6,8	1,1
44. Сарајево	H	57	63	62	60	91	84	60	67	72	103	89	83
	T	-1,1	0,7	4,4	9,8	14,1	17,5	19,8	19,2	15,8	10,3	6,4	0,9
45. Соколац	H	40	44	50	54	73	101	66	60	72	83	72	58
	T	-4,3	-3,3	1,5	6,9	11,9	14,8	17,0	16,2	13,0	8,1	3,6	-2,0
46. Тузла	H	55	53	66	76	101	109	93	85	72	90	76	77
	T	-0,3	0,7	5,2	10,6	15,0	18,5	21,2	20,3	16,5	11,2	6,7	1,3
47. Зеница	H	46	44	44	54	82	84	66	74	65	83	81	67
	T	-0,9	1,1	5,5	11,0	15,1	18,5	20,5	19,4	16,1	10,7	6,6	0,9
48. Мостар	H	126	120	106	108	105	72	42	48	89	168	190	187
	T	5,4	6,3	9,9	14,0	18,3	22,6	25,2	25,4	21,2	15,7	11,2	6,8
Република Србија													
49. Београд	H	46	41	47	50	82	91	59	61	44	59	54	55
	T	0,1	1,5	6,1	12,2	17,1	20,5	22,8	21,8	18,4	12,7	7,5	1,9
50. Босиљград	H	43	40	38	54	75	66	47	35	39	54	43	59
	T	-0,2	0,2	4,0	10,0	14,5	18,3	21,2	20,5	16,7	11,2	5,9	-0,1
51. Буковичка Бања	H	48	44	51	66	83	88	61	55	47	70	58	55
	T	0,1	1,0	5,2	11,2	15,9	19,2	21,6	20,8	17,2	11,3	6,8	1,3
52. Буково	H	52	54	44	61	69	80	42	44	37	58	67	71
	T	-1,6	0,8	5,1	12,7	17,2	21,3	24,0	23,5	19,3	12,4	6,7	0,8
53.Титова Митровица	H	40	35	33	39	70	66	32	45	36	71	53	57
	T	-0,1	1,0	4,8	10,5	15,2	18,7	21,3	20,7	16,8	11,3	6,7	0,9
54. Ковиљача	H	55	52	60	67	98	95	68	73	66	87	73	73
	T	0,2	1,8	6,2	11,3	16,1	19,6	21,6	20,6	17,1	11,5	7,2	1,9
55. Крагујевац	H	43	35	48	59	80	86	53	51	35	55	50	50
	T	0,0	1,2	5,6	11,8	16,4	20,0	22,3	21,4	17,6	11,9	7,4	1,8
56. Краљево	H	50	43	48	60	88	91	65	64	45	71	62	58
	T	-0,5	1,2	5,6	11,7	16,2	19,8	22,0	21,2	17,4	11,2	7,1	1,3

Табела 15.5 (Наставак)

место		месец											
		јан.	феб.	мар.	апр.	мај.	јун	јул	авг.	сеп.	окт.	нов.	дец.
57. Крушевац	Н	43	35	42	54	85	76	62	50	38	62	55	47
	Т	-0,4	0,8	5,5	11,7	16,3	19,9	22,0	21,3	17,5	11,7	6,4	1,5
58. Лесковац	Н	33	35	44	52	73	66	35	41	39	68	48	53
	Т	-0,4	1,2	5,6	12,6	16,7	20,2	22,6	21,7	18,0	12,4	7,6	1,4
59. Ниш	Н	38	33	33	47	74	66	39	42	33	61	51	51
	Т	-0,1	1,5	6,2	12,1	16,7	20,4	22,9	22,2	18,5	12,5	7,6	1,8
60. Нови Пазар	Н	35	35	30	48	68	71	53	50	44	67	66	46
	Т	0,1	-0,1	3,7	10,4	14,9	18,1	20,4	19,5	15,8	10,7	7,2	2,6
61. Нови Сад	Н	36	39	43	49	62	72	46	52	40	60	52	50
	Т	-0,2	1,2	5,9	12,0	16,9	20,3	22,7	21,8	18,2	12,3	7,1	1,6
62. Пећ	Н	83	67	66	62	76	80	42	33	49	116	102	121
	Т	0,2	1,5	5,6	11,7	15,7	19,5	22,0	21,4	17,9	12,1	7,4	1,3
63. Пирот	Н	33	31	33	48	74	65	38	46	34	52	46	47
	Т	0,3	1,0	5,4	11,7	16,0	19,7	21,3	20,8	17,1	12,0	6,7	1,4
64. Приштина	Н	32	28	29	51	77	53	35	45	44	64	48	40
	Т	-0,3	0,7	4,5	10,4	14,6	18,3	20,9	20,3	16,6	11,2	6,6	-0,1
65. Призрен	Н	77	59	61	68	91	69	39	44	54	93	82	105
	Т	1,1	3,5	7,1	12,7	16,8	20,6	23,4	22,9	19,1	13,2	8,3	2,2
66. Прокупље	Н	41	31	39	41	61	50	39	40	31	67	49	50
	Т	-0,6	1,1	5,4	11,6	15,8	19,8	23,6	22,5	18,2	12,4	7,4	1,3
67. Сента	Н	33	38	36	40	66	64	52	48	44	48	51	45
	Т	-1,2	0,4	5,4	11,5	16,7	20,1	22,7	21,3	17,5	11,4	6,5	0,8
68. Сјеница	Н	40	42	49	47	70	77	56	60	42	71	62	57
	Т	-4,6	-3,3	0,8	6,5	11,3	14,5	16,3	15,9	12,5	8,0	3,4	-3,2
69.Сремска Митровица	Н	39	42	41	49	72	81	51	62	42	63	55	54
	Т	-0,6	0,7	5,6	15,2	16,7	20,0	22,2	21,1	17,4	11,6	6,9	1,2
70. Бечеј	Н	36	35	39	42	63	68	51	49	44	55	49	50
	Т	-1,1	0,4	5,4	11,7	16,9	20,2	22,5	21,4	17,7	11,5	6,5	0,8
71. Титово Ужице	Н	53	48	48	49	77	97	66	69	58	68	68	57
	Т	-1,8	-0,1	4,3	10,1	14,5	18,0	20,2	19,4	15,8	10,2	5,7	-0,9
72. Ваљево	Н	46	50	53	67	95	92	64	73	54	72	65	64
	Т	0,1	1,3	5,6	11,3	16,3	19,7	21,7	21,1	17,3	11,5	6,9	1,7
73. Велико Градиште	Н	41	43	45	45	87	86	59	54	41	52	46	53
	Т	-0,4	0,6	5,4	11,9	16,9	20,1	22,3	21,3	17,7	11,9	6,9	1,5
74. Врање	Н	38	35	38	46	73	66	35	35	43	68	54	59
	Т	-0,3	1,2	5,5	11,2	15,9	19,6	22,3	21,7	18,0	12,2	7,1	1,4
75. Вршац	Н	45	39	38	46	84	86	58	64	44	54	52	56
	Т	0,3	1,4	6,1	14,0	18,0	20,6	22,9	22,0	18,5	12,7	7,9	2,2
76. Зајечар	Н	39	35	33	50	73	65	53	50	33	61	57	62
	Т	-1,2	-0,1	4,9	11,4	16,2	20,1	22,4	21,5	16,9	11,9	5,8	0,3

Табела 15.5 (Наставак)

место		месец											
		јан.	феб.	мар.	апр.	мај.	јун	јул	авг.	сеп.	окт.	нов.	дец.
77. Златибор	Н	47	56	57	63	93	110	80	90	61	91	79	65
	Т	-3,6	-2,3	1,8	7,0	11,7	15,2	17,7	17,4	14,2	8,5	3,9	-1,7
78. Жагубица	Н	47	36	40	61	87	88	60	54	41	58	56	54
	Т	-1,0	-0,8	3,9	10,2	14,9	18,3	20,3	19,2	14,7	13,6	4,5	-0,2
Црна Гора													
79. Цетиње	Н	424	417	358	232	187	128	47	70	178	525	622	600
	Т	1,2	1,7	4,6	9,4	13,9	18,2	21,1	20,8	16,6	11,0	7,1	2,7
80. Колашин	Н	147	156	151	139	144	88	60	55	97	228	293	265
	Т	-1,0	0,6	2,3	6,7	11,4	14,5	16,8	16,1	13,1	8,6	5,1	0,5
81. Никшић	Н	212	209	179	139	150	90	42	56	107	263	311	300
	Т	1,7	1,9	5,0	9,8	14,2	18,5	21,7	21,2	17,1	11,5	7,4	2,8
82. Пљевља	Н	40	49	49	47	70	77	56	60	49	81	70	65
	Т	-1,6	-1,4	3,3	9,1	13,0	16,2	18,4	17,4	13,9	9,5	5,5	-0,4
83. Титоград	Н	160	160	131	114	106	66	42	43	100	248	224	225
	Т	5,4	6,5	9,6	14,3	18,8	23,7	27,6	26,6	22,2	15,6	11,5	6,6
84. Улцињ	Н	153	117	114	93	84	45	25	29	96	168	174	192
	Т	7,0	9,1	10,0	14,1	18,0	22,1	24,5	24,4	21,4	16,7	12,9	8,8
85. Херцегнови - Игало	Н	191	150	193	125	131	81	24	44	157	252	336	240
	Т	8,3	9,3	10,7	14,1	18,0	22,0	25,1	24,8	21,5	16,9	12,4	9,7
БЈР Македонија													
86. Битола	Н	49	47	53	47	59	45	30	38	47	78	78	83
	Т	0,5	2,0	5,9	11,3	15,9	20,2	23,2	22,8	18,1	12,4	7,6	1,9
87. Демир Капија	Н	76	38	62	46	49	50	22	22	23	64	60	76
	Т	2,5	4,7	8,1	13,7	18,4	22,9	26,0	25,4	21,1	15,0	9,6	3,9
88. Крива Паланка	Н	42	34	39	60	85	81	44	41	36	75	56	63
	Т	0,2	1,5	4,8	10,4	14,7	18,5	21,3	21,2	17,5	11,5	6,3	2,2
89. Лазаропоље	Н	88	69	73	80	72	72	24	30	54	115	115	160
	Т	-2,4	-1,7	1,2	5,8	10,1	13,9	16,8	16,4	12,9	8,3	3,8	-0,1
90. Прилеп	Н	37	33	38	51	64	50	27	29	37	67	56	56
	Т	0,2	1,7	5,5	11,0	15,6	19,8	22,7	22,3	18,2	12,3	7,1	1,8
91. Радовиш	Н	52	45	46	39	55	56	34	24	35	66	67	69
	Т	0,8	2,7	6,1	11,7	16,4	21,0	23,6	23,3	19,3	13,6	7,1	2,5
92. Скопље	Н	38	28	37	40	53	45	26	26	29	61	47	54
	Т	0,5	2,3	6,7	12,5	17,2	21,5	24,4	23,6	19,2	12,8	7,7	1,9
93. Струга	Н	73	76	66	57	56	31	15	23	49	96	104	114
	Т	1,3	2,2	5,6	10,5	14,9	18,2	21,1	20,5	17,0	12,0	7,7	2,7

Табела 15.5 (Наставак)

94. Струмица	Н Т	44 1,1	41 3,2	49 7,4	55 14,1	56 18,2	51 22,9	26 25,9	24 25,6	28 21,1	75 14,8	67 8,9	68 3,0
95. Тетово	Н Т	72 -0,9	62 1,1	58 5,7	56 12,0	70 16,6	44 20,3	31 23,4	38 22,3	46 18,2	84 12,2	97 7,2	109 1,3
96. Титов Велес	Н Т	37 1,5	37 3,2	41 7,3	41 12,5	57 17,5	45 21,9	24 25,2	24 24,5	25 20,4	51 14,2	46 8,8	55 3,0
97. Штип	Н Т	37 1,4	32 2,6	38 7,3	44 12,7	61 17,4	47 21,5	28 24,6	27 24,0	29 19,9	60 13,9	56 8,8	57 2,9

Табела 15.5 (Наставак)

16

МИКРОМЕТЕОРОЛОШКИ ПРОФИЛИ ЊИВСКИХ КУЛТУРА

16.1 Уводне напомене

Примена метеоролошких принципа у анализи односа усев - време се веома много користи у пољопривредној пракси. Из тог сложеног односа издвајају се четири, могло би се рећи главна, проблема (Monteith, 1975).

1) Који износ воде усев губи (у простору који га окружује), како тај износ зависи од карактеристика ваздуха, земљишта и биљака и како је могуће тај износ учинити што мањим?
2) Који износ угљен диоксида усев апсорбује у простору који га окружује и како тај износ учинити што већим?
3) Шта одређује температурни режим и режиме влажности ваздуха и ветра код усева и који део ових фактора има улогу у развоју и порасту одвојено од њихових ефеката у транспирацији и фотосинтези?
4) Како микроклима појединих листова (за разлику од микроклиме биљног склопа у целини) одређује активност инсеката и гљивица, као и оштећења и болести које они изазивају.

У агрометеорологији, која се бави овим проблемима, пажња се највише посвећује првом проблему, можда зато што су непосредни ефекти, при решавању овог проблема, у пољопривредној пракси највећи (Monteith, 1975). У скорије време и осталим проблемима посвећује се дужна пажња с високим степеном егзакности у експерименталном и теоријском приступу.

У овом поглављу пажња ће бити посвећена неким аспектима који се односе на микрометеоролошке профиле у усеву и изнад усева ратарских култура. У наредном поглављу биће размотрен један метод којим могу да се добију неки одговори на питања формулисана као "први проблем".

16.2 Анализа микрометеоролошких профила њивских култура

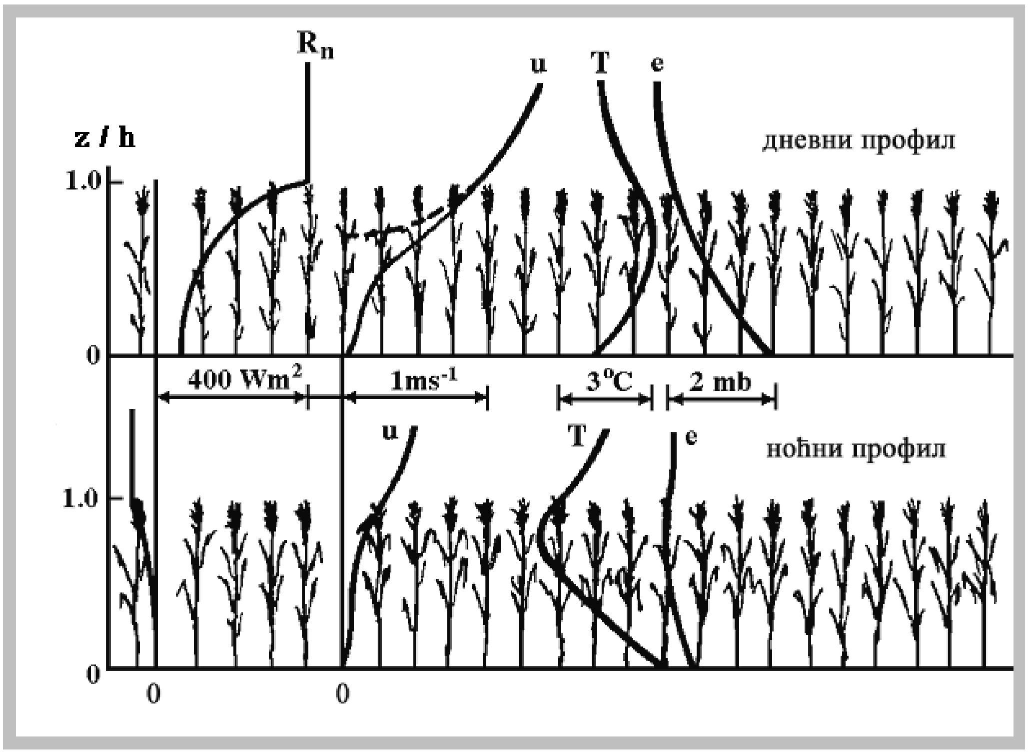
Под ***микрометеоролошким профилима*** њивских култура подразумевају се промене појединих метеоролошких елемената унутар и непосредно изнад биљног склопа са висином. При одређивању вертикалних флуксева изнад усева њивских култура користе се резултати мерења појединих метеоролошких елемената изнад усева. То је један од могућих приступа када се испитује однос између усева и времена. Међутим, информацију о одговору усева на стање простора који га окружује могуће је добити и на основу анализе профила зрачења, температуре и влажности ваздуха и ветра, између површине земљишта и површине биљног склопа. Док у првом приступу мерења метеоролошких елемената унутар биљног склопа нису потребна, у другом су она неопходна. Анализа микрометеоролошких профила биће приказана на примеру усева озиме пшенице (сл. 16.1).

Зрачење. Сунчево зрачење веома брзо бива апсорбовано од стране биљног склопа. У просеку, интензитет Сунчевог зрачења у близини површине земљишта опадне на вредност 5 - 10 % у односу на интензитет зрачења на површини биљног склопа.

У грољем делу биљног склопа током дана профили биланса зрачења R_n и краткоталасног зрачења G углавном, су слични. Међутим, у делу биљног склопа који је ближи земљишту, профили се веома разликују изузев у случају када је температура на површини земљишта блиска температури у доњим деловима биљног склопа. Током ноћи, профил биланса зрачења је обрнут у односу на дневни профил и доста је осетљив на промене градијента температуре ваздуха.

Ветар. Брзина ветра v изнад усева је логаритамска функција висине. Непосредно испод површине биљног склопа, стварна брзина ветра у (пуна линија на слици 16.1) је нешто већа од брзине која се предвиђа логаритамском релацијом

(испрекидана линија на истој слици). Овакав профил брзине ветра у доњем делу биљног склопа последица је транспорта количине кретања у хоризонталном правцу



Слика 16.1 Идеализовани профили биланса зрачења R_n (W m^{-2}), брзине ветра v (m s^{-1}), температуре ваздуха t (^{o}C) и притисака водене паре e (mb) унутар и изнад усева озиме пшенице висине h (z је вертикална координата) (Monteith, 1975)

који је у овом делу склопа доминантан у односу на вертикални транспорт количине кретања који доминира у горњим деловима биљног склопа.

Температура ваздуха. У току дана температура ваздуха t је највиша на површини биљног склопа будући да тај део усева добија највећу количину енергије. Током ноћи ситуација је обрнута када због интензивног израчивања у горњем делу биљног склопа, температура ваздуха t има најнижу вредност.

Притисак водене паре e се током дана смањује идући од површине земљишта према вишим деловима биљног склопа. То смањење је током ноћи нешто спорије и у непосредној је вези са образовањем росе на површини биљног склопа.

Задатак 16.1

У табели 16.1 дате су вредности брзине ветра v(m s^{-1}), интензитета глобалног зрачења G (W m^{-2}), температуре ваздуха t (^{o}C) и притиска водене паре e (mb) измерених унутар и изнад усева озиме пшенице НР-600 (Новосадска Рана са склопом од 600 биљака по m^2), 5. јуна 1981. године у 1300 часова по СЕВ-у, на огледној парцели Института за

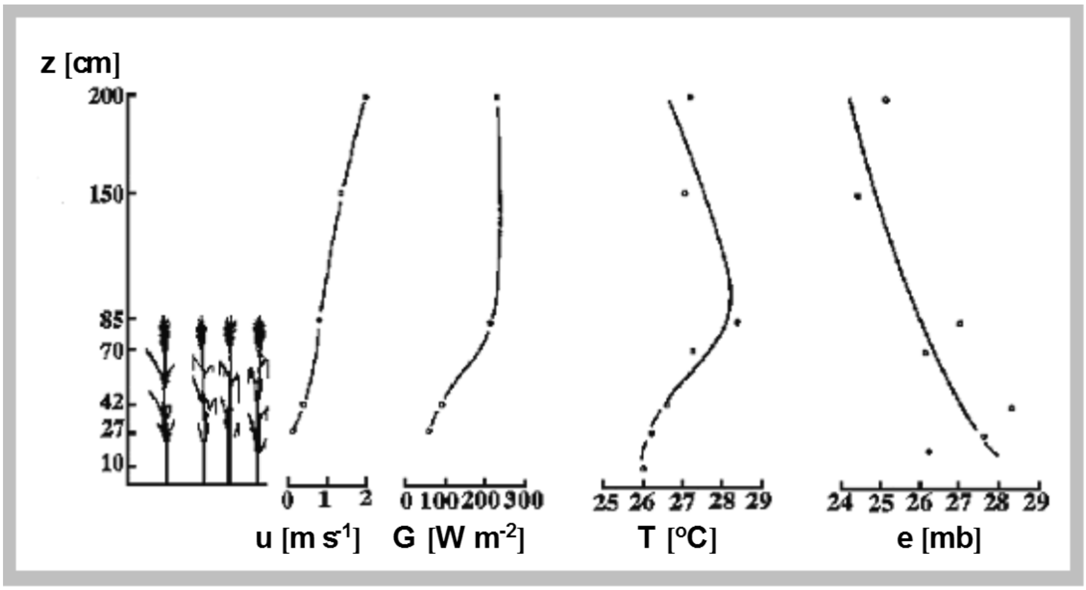
ратарство и повртарство на Римским Шанчевима. Графички приказати профиле свих метеоролошких елемената.

z (cm)	v	G	t	e
200	1,1	228	27,1	25,07
150	0,7		27,0	24,40
85	0,4	213	28,2	27,00
70			27,1	26,08
42	0,2	91	26,6	28,28
27	0,1	61	26,2	27,57
10			26,0	26,20

Табела 16.1 Брзина ветра v(m s^{-1}), интензитет глобалног зрачења G (W m^{-2}), температура ваздуха t (^oC) и притисак водене паре e (mb) унутар и изнад усева озиме пшенице НР_600 5. јуна 1981. године у 1300 часова по СЕВ-у, на Римским Шанчевима. Просечна висина биљака h је 85 cm

Решење

Графички приказ микрометеоролошких профила измерених метеоролошких елемената дат је на слици 16.2.



Слика 16.2 Микрометеоролошки профили брзине ветра v(m s^{-1}), интензитет глобалног зрачења G (W m^{-2}), температуре ваздуха t (^oC) и притиска водене паре e (mb) унутар и изнад усева озиме пшенице у 1300 СЕВ 5. јуна 1981. године на Римским Шанчевима

час (CEB)	z	v	ε_G	t	t_1
800	200 150 85 70 42 27 10	2,2 1,7 0,7 0,3 0,3	3,5 3,2 1,4 0,8	19,3 19,2 20,0 18,9 19,4 19,5 19,5	18,4 17,8 18,5 18,1 18,4 18,2 18,3
1000	200 150 85 70 42 27 10	1,8 1,3 0,6 0,5 0,2	5,4 4,8 2,0 1,4	23,0 23,4 25,1 24,0 24,4 24,4 24,4	21,4 20,5 22,2 21,5 22,2 22,4 22,0
1400	200 150 85 70 42 27 10	2,7 2,0 1,1 0,9 0,6	6,3 6,7 3,7 1,6	28,4 28,0 29,4 28,4 29,0 29,1 29,0	24,0 23,4 25,4 24,4 25,4 25,8 25,0
1500	200 150 85 70 42 27 10	2,3 1,7 0,9 0,6 0,3	4,9 4,8 1,7 1,2	27,8 27,6 26,0 28,0 28,1 28,4 28,4	23,2 23,1 25,2 24,0 25,2 25,0 25,0

Табела 16.2 Вредности брзине ветра v (m s^{-1}), електромоторне силе добијене приликом мерења глобалног зрачења ε_G (mV) и температуре сувог и влажног термометра t (^oC) и t_1 (^oC) измерене унутар и изнад усева озиме пшенице НР-600 (Новосадска Рана са склопом од 600 биљака по m^2), 5. јуна 1981. године, на огледној парцели Научног института за ратарство и повртарство на Римским Шанчевима.

16.3 Контролна питања и задаци

1. Који су главни проблеми, које је могуће издвојити, који се јављају при проучавању односа усев - време?
2. Који су могући приступи при проучавању односа усев - време?
3. Каква врста мерења је потребна при израчунавању вертикалних флуксева изнад усева?
4. Какав је профил биланса зрачења R_n изнад и унутар усева током дана и ноћи?
5. Какав је профил брзине ветра у унутар и изнад усева?
6. Какви су профили температуре ваздуха t и притиска водене паре e унутар и изнад усева током дана и ноћи?

Задатак 16.2

У табели 16.2 дате су вредности брзине ветра v, електромоторне силе добијене приликом мерења глобалног зрачења ε_G и температуре сувог и влажног термометра t и t_1 измерене унутар и изнад усева озиме пшенице НР-600 (Новосадска Рана са склопом од 600 биљака по m^2), 5. јуна 1981. године, на огледној парцели Научног института за ратарство и повртарство на Римским Шанчевима. Узимајући одговарајуће вредности за један час: **а)** одредити одговарајуће притиске водене паре e; **б)** одредити одговарајуће вредности интензитета глобалног зрачења G узимајући да је инструментална константа $k_G = 76{,}1\ W\ m^{-2}\ mV^{-1}$ и **в)** графички приказати профиле свих метеоролошких елемената.

17

ОДРЕЂИВАЊЕ КОМПОНЕНАТА ЕНЕРГЕТСКОГ БИЛАНСА У БЛИЗИНИ ПОВРШИНЕ ЗЕМЉЕ

17.1 Уводне напомене

У приземном турбулентном слоју, доњем слоју планетарног граничног слоја, физички процеси су одређени углавном интеракцијом између тла и ваздуха. Наиме, топографија, врста, храпавост и друге особине тла условљавају размену количине кретања, топлоте и влаге између тла и ваздуха. Ови процеси размене су веома сложени због турбулентног карактера кретања ваздуха. Због тога се за описивање кретања и процеса у овом слоју прибегава различитим теоријским и експерименталним поступцима. На овом месту пажња ће бити посвећена овим другим при чему ће највише простора бити посвећено једном поступку који има широку примену у метеоролошкој и пољопривредној пракси.

У експерименталном поступку могућа су два приступа у одређивању вредности флуксева величина које учествују у размени. Први приступ је њихово непосредно мерење и други, који се заснива на градијентним мерењима температуре, напона водене паре ваздуха и брзине ветра. Уколико се том приликом флуксеви топлоте, влаге и количине кретања, израчунавају преко измерених профила температуре, притиска водене паре ваздуха и брзине ветра, примењује се метод Монин-Обухова (аеродинамички метод). Ако се, пак, флуксеви израчунавају, преко измерених профила температуре и притиска водене паре ваздуха, примењује се Бовенов метод (Bowen) енергетског биланса.

Ако се првом приступу може приписати апсолутна предност у погледу поузданости и тачности, онда се градијентним мерењима предност може дати у погледу једноставности и могућности шире примене.

У наредном поглављу пажња ће бити посвећена експерименталном поступку за одређивање вретикалних флуксева у близини површине Земље. Реч је о Бовеновом методу који се често примењује у различитим варијантама, што је условљено и експерименталном опремом с којом се располаже.

Прегледности ради на овом месту ће бити наведен попис ознака које ће бити коришћене у наредним поглављима.

c тежинска специфична топлота (J kg^{-1} ^oC);

e притисак водене паре (mb);

k температурна проводност земљишта (m^2 s^{-1});

z ветикална координата (m);

B флукс топлоте у земљишту (W m^{-2});

C_v запреминска специфична топлота земљишта (J m^{-3} $^oC^{-1}$);

G интензитет глобалног зрачења (W m^{-2});

B_z интензитет Земљиног израчивања (W m^{-2});

LE флукс латентне топлоте (W m^{-2});

N облачност;

P флукс осетне топлоте (W m^{-2});

R интензитет рефлектованог зрачења (W m^{-2});

R_n биланс зрачења (W m^{-2});

t температура ваздуха или температура земљишта (^oC);

W влажност земљишта (%);

E_f интензитет ефективног израчивања (W m^{-2});

B_A интензитет противзрачења атмосфере (W m^{-2});

β Бовенов количник;

γ психрометарска константа (m $^oC^{-1}$);

ε емисивност земљишта;

λ топлотна проводност земљишта (J m^{-1} s^{-1} $^oC^{-1}$);

ρ густина земљишта (kg m^{-3}) и

σ Штефан-Болцманова константа (W m^{-2} K^{-4}).

17.2 Бовенов метод енергетског биланса

Енергетски биланс у близини Земљине површине могуће је представити у облику

$$R_n + B + P + LE = 0 \tag{17.1}$$

при чему се занемарују доприноси адвективних чланова и енергија донета падавинама, а код биљног покривача још и фотосинтетичка енергија и енергија акумулисана од стране биљака.

Из једначине (17.1), која представља формулацију закона о одржању енергије у близини површине земље, ***флукс латентне топлоте*** LE може да се представи у облику

$$LE = -\frac{R_n + B}{1+\beta} \tag{17.2}$$

где је са

$$\beta = \frac{P}{LE} \tag{17.3}$$

означен ***Бовенов количник*** који експлицитно може да се изрази у облику

$$\beta = \gamma \frac{\partial t}{\partial e}, \tag{17.4}$$

при чему се за вредност константе γ узима вредност од 0,65 mb $^{o}C^{-1}$. Практично, вредност количника β добија се из нагиба регресионе праве $t = t(e)$ при чему се вредности температуре ваздуха и притиска водене паре добијају путем градијентних мерења температура сувог и влажног ваздуха.

Из дефиниције Бовеновог количника (17.3) следи да је ***флукс осетне топлоте*** P

$$P = \beta LE \tag{17.5}$$

Да би се преко једначина (17.2) и (17.5) одредили флуксеви латентне и осетне топлоте потребно је одредити биланс зрачења и флукс топлоте у земљишту односно

величине које је релативно лако могуће измерити или, пак, израчунати преко емпиријских формула.

Бовенов метод се примењује при одређивању компонената енергетског биланса у близини Земљине површине када је у питању необрасло земљиште или земљиште под биљним покривачем. У наредним поглављима биће приказан модел за израчунавање компонената енергетског биланса, базиран на Бовеновом методу, у близини Земљине површине, развијен на Пољопривредном факултету у Новом Саду (Ач и Михаиловић, 1985; Михаиловић и Ач, 1985).

17.3 Биланс зрачења

Биланс зрачења у близини Земљине површине могуће је одредити експериментално, наравно уколико се располаже с билансметром што обично није случај. Због тога се прибегава комбинованим поступцима за његово одређивање. Обично се краткоталасно зрачење мери директно док се дуготаласна зрачења одређују преко емпиријских формула уз коришћење метеоролошких елемената од којих зависи дуготаласно зрачење а који су лакше доступни процесу мерења. На овом месту биће приказан један комбиновани метод за одређивање биланса зрачења, који се веома често користи а посебно при одређивању компонената енергетског биланса изнад њивских култура. У даљем тексту са звездом (*) биће назначено зрачење које се односи на биљни склоп.

Интензитети глобалног зрачења G и G^* као и ***интензитети рефлектованог зрачења*** R и R^* одређују се путем мерења.

Интензитети Земљиног израчивања B_z и B_z^* израчунавају се преко израза

$$B_z = \varepsilon \sigma T_0^4 \tag{17.6}$$

$$B_z^* = \varepsilon \sigma T_0^{*4} \tag{17.6a}$$

где су са T_0 и T_0^* означене температуре (K) на површини необраслог земљишта или земљишта под усевом, редом. Температуру на површини земљишта је веома тешко, ако не и немогуће, коректно измерити. Зато се обично прибегава рачунском поступку

за њено одређивање уз коришћење температура измерених на већим дубинама. На пример, често се користи Лагранжеов интерполациони поступак (Lagrange) уз употребу температура земљишта измерених на дубинама од 2 cm и 5 cm. За емисивност земљишта се обично узима вредност од 0,96.

Интензитет противзрачења атмосфере B_a за случај безоблачног неба, израчунава се преко формуле

$$B_a = T_v^4 \,(0{,}820 - 0{,}250 \cdot 10^{-0{,}094\, e_v}) \tag{17.7}$$

где су са T_v и e_v означени температура ваздуха (K) и притисак водене паре (mb), редом, измерени у метеоролошком заклону. Није на одмет истаћи да последњи израз представља Болц-Фалкенбергову формулу (Boltz-Falckenberg) која може да се примени и за наше климатске услове (Ач и Михаиловић, 1985).

Интензитет ефективног израчивања E_f за систем атмосфера - необрасло земљиште, израчунава се преко израза

$$E_f = (B_z - B_a)\left(1 - \frac{0{,}76\,N_n + 0{,}52\,N_s + 0{,}26\,N_v}{10}\right) \tag{17.8}$$

при чему су са N_n, N_s и N_v, у опсегу од 1 до 10, означене ниска, средња и висока облачност, редом.

За систем атмосфера - биљни склоп, интензитет ефективног израчивања E_f^* израчунава се преко израза

$$E_f^* = (B_{z,b} - B_a)\left(1 - \frac{0{,}76\,N_n + 0{,}52\,N_s + 0{,}26\,N_v}{10}\right) \tag{17.9}$$

при чему се узима да је

$$B_{z,b} = \frac{1}{2}\left(B_z + B_z^*\right). \tag{17.10}$$

Узимајући у обзир употребљене изразе (17.6) - (17.10) биланс зрачења, R_n за систем атмосфера - необрасло земљиште, може да се напише у облику

$$R_n = G - R - E_f\,, \qquad (17.11)$$

а за систем атмосфера - биљни склоп

$$R_n^* = G^* - R^* - E_f^*\,. \qquad (17.12)$$

17.4 Флукс топлоте у земљишту

Процес загревања и хлађења земљишта тј. размене топлоте у земљишту је одређен физичким, топлотно-физичким и биолошким особинама земљишта.

Најзначајније ***физичке особине земљишта*** су: боја, густина, садржај воде, ваздуха и органске материје у земљишту. Боја земљишта на одлучујући начин утиче на способност усвајања енергије Сунчевог зрачења од стране земљишта, тј. на његов албедо. Наиме, светлија површина више рефлектује, а тамнија више апсорбује енергију Сунчевог зрачења. Боја земљишта зависи од садржаја воде и хумуса у земљишту. Такође, садржај воде, ваздуха и хумуса битно утиче и на структуру земљишта која се мења зависно од типа и начина обраде земљишта, којом се може значајно изменити садржај воде и ваздуха, који опет утичу на топлотно-физичке особине.

Најзначајније ***топлотно-физичке особине земљишта*** су: топлотна проводност, запреминска специфична топлота и температурна проводност. Топлотна проводност указује на брзину транспорта топлоте у земљишту и зависи од садржаја воде и ваздуха. Растреситија земљишта са већим садржајем ваздуха су лоши проводници топлоте. Размену топлоте у земљишту одређује и запреминска специфична топлота која у великој мери зависи од садржаја воде у земљишту. Познато је да се влажније земљиште спорије загрева и хлади. Са друге стране, температурна проводност указује на ефекат загревања и хлађења земљишта при одрговарајућој размени топлоте у њему. Истовремено, она је мера утицаја запреминске специфичне топлоте и способности провођења топлоте на размену топлоте у земљишту.

Под ***биолошким особинама земљишта*** подразумева се утицај биљног покривача на размену топлоте у земљишту. Тај утицај се огледа у промени квалитета Земљине

површине због присуства биљне масе као и због измене структуре површинског дела земљишта услед присуства кореновог система.

Одређивање топлотно-физичких особина земљишта. Топлотно-физичке особине земљишта се могу одредити експерименталним или рачунским путем. Овом приликом ће бити приказан један рачунски метод за одређивање температурне проводности, запреминске специфичне топлоте и топлотне проводности.

Колмогоровљев метод (Kolmogorov) је често коришћен поступак за израчунавање ***температурне проводности*** k, при чему се она израчунава преко израза

$$k = \frac{C_k (z_2 - z_1)^2}{\log^2 \dfrac{(t_1 - t_3)^2 + (t_2 - t_4)^2}{(t_1' - t_3')^2 + (t_2' - t_4')^2}} \qquad (17.13)$$

где уведене ознаке имају следећа значења: $C_k = 274 \cdot 10^{-7}\ s^{-1}$ - константа, t_1, t_2, t_3 и t_4 - температуре земљишта на дубини z_1 (m), а t_1', t_2', t_3' и t_4' температуре на дубини z_2 (m), мерене у интервалима од по шест часова. За температуре t_1 и t_1' узимају се температуре земљишта измерене у 0600 по СЕВ-у. При томе се предпоставља да је земљиште хомогено са периодичном променом температурног таласа у земљишту.

Веза између ***запреминске влаге*** w и ***запреминске специфичне топлоте*** C_v може да се изрази у следећем облику

$$C_v = \rho \left(c + \delta \frac{w}{100} \right), \qquad (17.14)$$

где је са δ означена константа која има вредност 41,87 J $kg^{-1}\ {}^oC^{-1}$. У изразу (17.14) за густину земљишта ρ узета је вредност од $1{,}3 \cdot 10^3$ kg m^{-3} која одговара густини слабо карбонатног чернозема лесне терасе Јужне Бачке, док је за тежинску специфичну топлоту c узета вредност од $0{,}84 \cdot 10^3$ J $kg^{-1}\ {}^oC^{-1}$.

Топлотна проводност λ се израчунава преко познате везе између температурне проводности и запреминске специфичне топлоте

$$\lambda = k\, C_v \qquad (17.15)$$

Одређивање размене топлоте у земљишту. Размена топлоте у земљишту може се одредити експериментално, али се у недостатку инструмената за непосредно одређивање прибегава рачунском поступку. Укупна размена топлоте у земљишту B се може приказати као сума топлоте акумулиране у посматраном слоју и проведене топлоте, тј.

$$B = C_v \, Z \frac{\Delta T}{\Delta t} + \lambda_z \left. \frac{dt}{dz} \right|_z \tag{17.16}$$

где је са Z означена дубина дневног колебања температуре земљишта (за земљиште на Римским Шанчевима та дубина је око 30 cm), Δt/Δt представља промену температуре земљишта у јединици времена у слоју дебљине Z, λ_z и $\left. \frac{dt}{dz} \right|_z$ су топлотна проводност и градијент температуре у земљишту на дубини Z = 30 cm, редом. На основу бројних мерења обављених на огледним пољима Научног института за ратарство и повртарство у Новом Саду која се налазе на Римским Шанчевима развијена је емпиријска релација за израчунавање флукса топлоте у земљушту B у облику

$$\begin{aligned} B = {} & \alpha_1 C_{v,2-5} \Delta t_{2-5} + \alpha_2 C_{v,5-10} \Delta t_{5-10} + \alpha_3 C_{v,10-20} \Delta t_{10-20} + \\ & + \alpha_4 C_{v,20-30} \Delta t_{20-30} - 5 \lambda_{20-30} \left(t_{20} - t_{50} \right) \end{aligned} \tag{17.17}$$

где индекси означавају вредности запреминске специфичне топлоте C_v и разлике температура Δt у одговарајућим слојевима док уведене константе имају следеће вредности: $\alpha_1 = 8{,}33 \cdot 10^{-6}$ m, $\alpha_2 = 13{,}88 \cdot 10^{-6}$ m, $\alpha_3 = 27{,}8 \cdot 10^{-6}$ m и $\alpha_4 = 27{,}8 \cdot 10^{-6}$ m. У изразу (17.7) промене температуре Δt_{2-5}, Δt_{5-10}, Δt_{10-20}, Δt_{20-30} се израчунавају преко следећих релација

$$\Delta t_{2-5} = \frac{t_2^0 + t_5^0}{2} - \frac{t_2^1 + t_5^1}{2}$$

$$\Delta t_{5-10} = \frac{t_5^0 + t_{10}^0}{2} - \frac{t_5^1 + t_{10}^1}{2}$$

$$\Delta t_{10-20} = \frac{t_{10}^0 + t_{20}^0}{2} - \frac{t_{10}^1 + t_{20}^1}{2} \qquad (17.18)$$

$$\Delta t_{20-30} = \frac{t_{20}^0 + t_{30}^0}{2} - \frac{t_{20}^1 + t_{30}^1}{2}$$

где горњи индекси означавају почетак (0) и крај (1) временског интервала од једног часа.

Задатак 17.1 Током вегетационог периода соје 1982. године на огледној парцели Научног института за ратарство и повртарство у Новом Саду чија су огледна поља смештена на Римским Шанчевима, 10 km североисточно од Новог Сада, обављена су градијентна мерења температуре и влажности ваздуха и земљишта за голо и земљиште под вегетацијом (сл. 17.1). Коришћењем резултата мерења обављених 22. јуна 1982. године у 1300 часова по СЕВ-у, израчунати компоненте енергетског биланса изнад усева соје и изнад голог земљишта. Тог дана соја НС-10 била је просечно висока h = 65 cm и налазила се у фази интензивног пораста.

Решење:

а. *Бовенов количник* се израчунава преко израза (17.4). После уврштавања бројних вредности

$$\beta = 0{,}65 \cdot \frac{26{,}0 - 28{,}0}{18{,}14 - 22{,}62} = 0{,}290 \qquad (17.19)$$

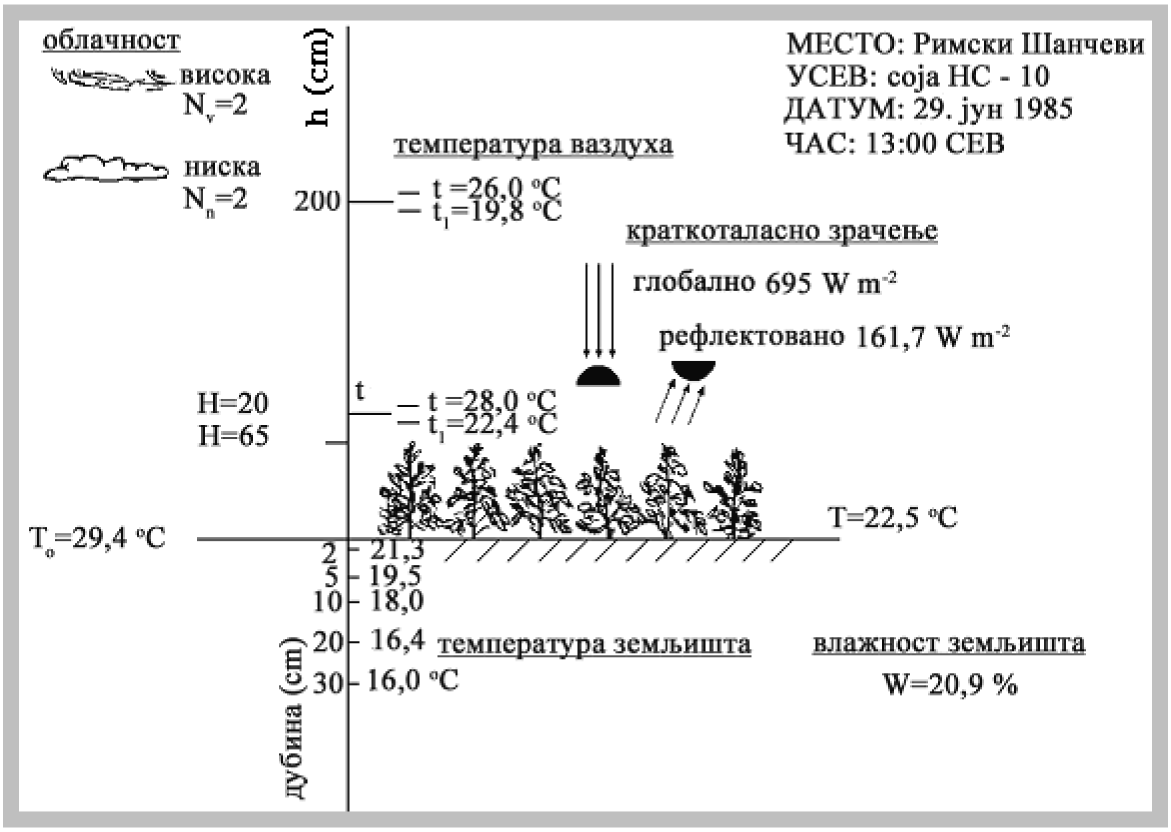
где су 18,14 mb и 22,62 mb притисци водене паре на висинама од 200 cm и x + 20 cm, редом.

б. *Биланс зрачења.* На основу измерених вредности интензитета рефлектованог R = 161,7 W m^{-2} и глобалног зрачења G = 695 W m^{-2}, интензитет Земљиног израчивања B_z добија се заменом одговарајућих величина у израз (17.6) за земљиште под усевом соје,

$$B_z^* = 0{,}96 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot (273 + 22{,}5)^4 = 415{,}0 \text{ W m}^{-2} \qquad (17.20)$$

и за необрасло земљиште

$$B_z = 0{,}96 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot (273 + 29{,}4)^4 = 455{,}2 \text{ W m}^{-2} \qquad (17.21)$$



Слика 17.1 Уз израчунавање компонената енергетског биланса изнад усева соје

в. *Интензитет противзрачења атмосфере* B_A се израчува преко израза (17.7) или после замене одговарајућих бројних вредности

$$B_A = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot (273 + 26{,}0)^4 \cdot (0{,}820 - 0{,}250 \cdot 10^{-0{,}094 \cdot 18{,}14}) = 369{,}4 \text{ W m}^{-2} \tag{17.22}$$

Пре него што се приступи израчунавању интензитета ефективног израчивања биљног склопа E_f^* потребно је учинити апроксимацију (17.10), што у разматраном примеру износи

$$B_{z,b} = \frac{1}{2} \cdot (455{,}2 + 415{,}0) = 435{,}1 \text{ W m}^{-2} \tag{17.23}$$

г. *Интензитет ефективног израчивања* E_f^* се израчунава преко формуле (17.9). Заменом одговарајућих вредности добија се

$$E_f^* = (435{,}1 - 369{,}4) \cdot \left(1 - \frac{0{,}76 \cdot 2 + 0{,}52 \cdot 0 + 0{,}26 \cdot 2}{10}\right) = 52{,}2 \text{ W m}^{-2} \tag{17.24}$$

Коначно, уврштавањем одговарајућих бројних вредности у (17.12) добија се да је биланс зрачења R_n

$$R_n = 481{,}1 \text{ W m}^{-2} \tag{17.25}$$

е. *Флукс топлоте у* земљишт*у*. За изабрани дан температурна проводност износи k = 0,0059 cm^2 s^{-1}. Заменом одговарајућих вредности у (17.15) добија се да је топлотна проводност λ = 0,013 J cm^{-1} $^oC^{-1}$. Коначно, заменом добијених вредности у (17.17) добија се да је флукс топлоте у земљишту B

$$B = -34{,}8 \text{ W m}^{-2} \tag{17.26}$$

Када је познат биланс зрачења R_n и флукс топлоте у земљишту B лако се преко израза (17.2) налази да је

$$LE = -\frac{481{,}1 - 34{,}8}{1 + 0{,}290} = -346{,}0 \text{ W m}^{-2} \tag{17.27}$$

да би се преко израза (17.3) добио и флукс осетне топлоте P, тј.

$$P = 0{,}290 \cdot (-346{,}0) = 100{,}3 \text{ W m}^{-2} \tag{17.28}$$

Негативни предзнаци флуксева латентне LE и осетне топлоте P и флукса топлоте у земљишту B су последица конвенције. Наиме, негативан знак указује на чињеницу да површина, за коју се израчунавају компоненте енергетског биланса, губи енергију неким физичким процесом. У разматраном случају биљни покривач соје губи топлоту процесом интензивног испаравања, затим и услед загревања виших слојева ваздуха који су хладнији од слоја ваздуха који належе на биљни покривач. Такође, трећи процес којим површина губи топлоту јесте транспорт топлоте у дубље слојеве земљишта који се на тај начин, будући да су током дана хладнији од површине, загревају. Наравно, сума свих ових губитака једнака је билансу зрачења непосредно изнад усева соје.

17.5 Контролна питања и задаци

1. Како се могу одредити количине кретања, влаге и топлоте у приземном турбулентном слоју?
2. Који су могући приступи при експерименталном одређивању вертикалних флуксева у приземном
   турбулентном слоју?
3. Извести једначине Бовеновог метода.
4. Како је дефинисан Бовенов колижник?
5. Како се одређује / израчунава биланс зрачења Бовеновом методом?
6. Које су најзначајније топлотно-физичке карактеристике земљишта?
7. Како се израчунава температурна проводност земљишта?
8. Како се израчунава топлотна проводност земљишта?
9. Како се израчунава запреминска специфична топлота земљишта?

Задатак 17.2 Користећи температуре сувог t и влажног термометра t_1 измерене током горе описаног експеримента израчунати Бовенов количник β. Том приликом користити податке дате у табели 17.1 и таблични метод за одређивање елемената влажности ваздуха.

Задатак 17.3 Користећи податке о температури и влажности земљишта који су измерене током горе описаног експеримента и дати у табелама (17.2) и (17.3) израчунати: **а)** запреминску специфичну топлоту C_v за слојеве 2-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm и 20-30 cm, као и температурну k и топлотну проводност λ за слој 20-30 cm; **б)** укупан флукс топлоте у земљишту.

Задатак 17.4 Користећи податке о температури ваздуха и земљишта и интензитетима рефлектованог R и глобалног G зрачења измереним током горе описаног експеримента, као и израчунатим вредностима Бовеновог количника β (задатак 17.2) и флукса топлоте у земљиште B (задатак 17.3) израчунати флуксеве осетне P и латентне LE топлоте користећи горе описани поступак. При израчунавању користити податке дате у табели 17.4.

висина (cm)	часови										
	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
200 t	18,1	21,0	24,1	28,2	30,7	30,8	31,2	32,1	33,0	32,6	33,4
t_1	17,8	20,2	22,4	25,6	26,6	26,0	26,5	26,3	26,7	26,8	26,3
120 t	17,7	20,8	23,6	28,0	30,4	30,8	30,4	32,3	33,2	32,9	33,5
t_1	17,4	20,1	22,2	24,7	25,2	25,2	26,4	26,4	26,7	26,4	26,2

висина у (cm)	часови									
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	01
200 t	32,6	31,0	29,9	26,6	24,0	22,8	21,7	20,2	20,7	19,1
t_1	26,6	25,7	25,4	23,9	22,5	21,3	21,1	19,6	19,9	18,9
120 t	32,6	31,1	29,2	26,0	23,1	21,0	20,0	19,1	20,0	18,0
t_1	25,9	24,6	24,2	22,8	21,2	19,9	19,2	18,6	19,0	17,6

Табела 17.1 Температуре сувог t (°C) и влажног термометра t_1 (°C) измерене на Августовом психрометру изнад земљишта под усевом соје 21. јула 1982. године.

дубина (cm)	часови									
	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
2	19,0	19,2	20,6	23,0	25,9	27,1	28,0	29,4	29,4	29,4
5	20,0	19,7	20,0	21,2	22,2	23,6	24,1	25,3	25,8	25,8
10	20,6	20,2	20,2	20,9	21,4	22,2	22,6	23,4	23,9	24,0
20	20,7	20,2	20,0	20,5	20,6	20,6	20,8	21,2	21,4	21,4
30	20,7	20,3	20,0	20,5	20,5	20,6	20,7	20,8	20,8	20,8
50	19,7	19,2	19,3	19,7	19,7	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8

дубина (cm)	часови									
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	01
2	28,2	27,0	26,2	25,0	23,4	22,4	21,6	20,8	20,4	19,9
5	25,5	24,8	24,6	24,1	23,3	22,7	22,3	21,7	21,4	21,0
10	24,2	23,9	23,8	23,7	23,2	22,8	22,7	22,1	21,8	21,4
20	21,8	21,6	21,8	21,9	21,9	21,7	21,8	21,5	21,6	21,2
30	20,9	20,7	20,9	21,2	21,1	21,0	21,3	21,0	21,2	21,0
50	19,9	19,5	19,7	19,8	19,7	19,6	19,9	19,7	19,8	19,7

Табела 17.2 Температура земљишта t_z (^oC) на различитим дубинама измерена у земљишту под усевом соје 21. јула 1982. године

дубина (cm)	w
2 -5	11,1
5-10	11,1
10-20	13,1
20-30	14,5

Табела 17.3 Влажност различитих слојева земљишта W (%) измерена у земљишту под усевом соје током 21. јула 1982. године

часови	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
ε_G	0,6	1,6	3,1	5,0	6,3	7,7	8,0	8,2	7,6	7,0	5,8
ε_R	0,2	0,5	1,0	1,3	1,5	1,7	1,7	1,7	1,6	1,5	1,3
t_{os}	22,3	25,4	31,3	38,2	43,7	48,1	50,1	51,1	51,8	50,5	47,2
t_{ob}	18,3	18,9	21,0	24,2	28,4	29,4	30,6	32,1	31,8	31,8	31,5
t	17,8	20,0	22,4	26,0	29,1	30,2	30,2	31,2	31,6	31,8	32,1
t_1	17,0	19,0	20,4	22,4	23,0	22,4	21,8	22,7	22,9	23,8	23,2
N_n	0	0	0	0	0	0	1	1	3	3	2
N_s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N_v	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Табела 17.4 Електромоторна сила коју је индуковало глобално ε_G (mV) и рефлектовано ε_R (mV) зрачење, температуре необрасле t_{os} и обрасле површине земљишта t_{ob}, температура ваздуха t, температура влажног термометра t_1, ниска, средња и висока облачност N_n, N_s, N_v измерена током 21. јула 1982. године. Инструментална константа за глобално зрачење износи k_G = 79,80 W m^{-2} mV^{-1}, а инструментална константа за рефлектовано зрачење износи k_R = 77,15 W m^{-2} mV^{-1}.

18

АУТОМАТСКА И ВИСИНСКА МЕРЕЊА МЕТЕОРОЛОШКИХ ЕЛЕМЕНАТА

18.1 Уводне напомене

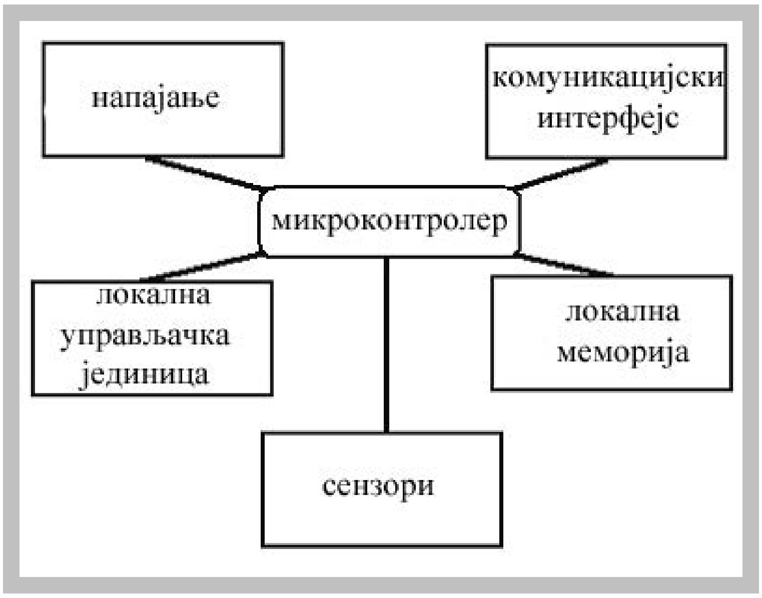
Током XX века аутоматска и висинска мерења су постала саставни део Глобалног осматрачког система. ***Аутоматска мерења***, у ширем смислу, су сва мерења која се обављају аутоматски од стране система без директног учешћа човека. Међутим, у метеоролошкој пракси се под овим појмом обично подразумевају мерења која се обављају посредством аутоматских метеоролошких станица. ***Висинским мерењима*** се, пак, одређује стање слободне атмосфере помоћу уређаја стационарних на тлу (радар, уређај за сферике), инструмената и система упућених у атмосферу авионом, балоном или ракетом (метеорографи, радио-сонде, инструменти на авиону), као и инструмената на вештачким - метеоролошким сателитима Земље. Сва ова мерења су временски и просторно много ређа него она која се спроводе у мрежи приземних метеоролошких станица, а нека од тих мерења служе за истраживачке сврхе у огрениченом опсегу. Рутинска мерења обухватају пилот-балонска и радио-сондажна мерења. Подаци о стању облака одређују се авионима, радарима и сателитима, а за истраживачке сврхе употребљавају се и уређаји за мерење кондензационих и сублимационих језгара, честица облака, садржаја течне воде у облаку итд.

18.2 Аутоматске метеоролошке станице

Развој микро електронике је нашао своју широку примену у изградњи аутоматских уређаја који се користе за мерење, сакупљање и пренос метеоролошких

података. Све те уређаје, заједничким именом, називамо ***аутоматске метеоролошке станице*** (АМС). Ови уређаји се примењују ради замене људи у очитавању инструмената на стандардним метеоролошким станицама; сакупљања метеоролошких података у кратким временским интервалима (у микрометеоролошким и пољским огледима); сакупљања метеоролошких података са тешко приступачних локација (планински врхови, непроходне шуме, мочваре итд.) и сакупљања метеоролошких података са удаљених локација (пустиње, ненасељене степе, мора и океани).

Схема стандардне архитектуре АМС је приказана на слици 18.1. Наравно, постоје и другачије архитектуре које се од приказане углавном разликују по томе што недостају компоненте локална управљачка јединица и/или локална меморија.



Слика 18.1 Схема архитектуре аутоматске метеоролошке станице

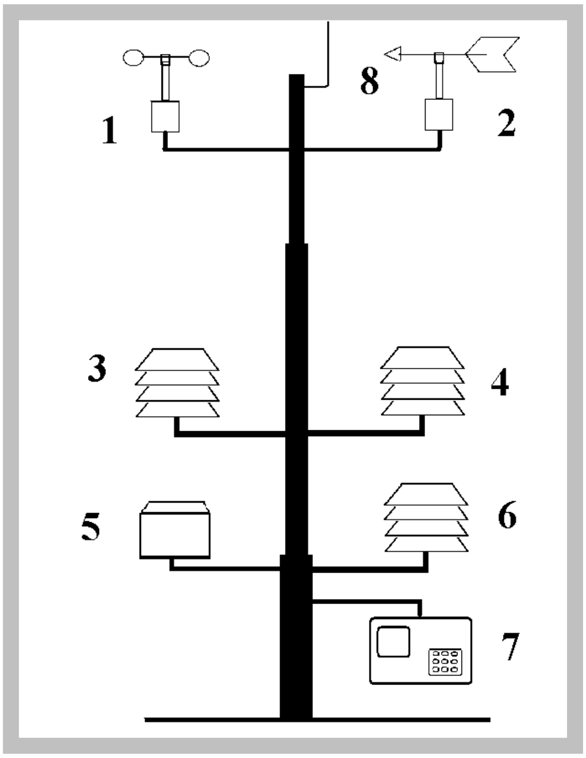
Микроконтролер или CPU (Central Processor Unit - Централна процесорска јединица) је "мозак" целог уређаја (сл. 18.1). У њему се налази рачунарски програм, обично писан ***у машинском програмском језику***, који обавља очитавање сензора, записивање њихових вредности у меморију и обављање комуникације са рачунаром. ***Напајање*** може да буде разнолико у зависности од тога где се уређај примењује. Наравно, са овог становишта, најповољнији случај је када се АМС налази у урбаној средини па може да се директно прикључи на електричну мрежу. Међутим, када то није случај напајање ни тада не представља значајнији проблем јер овакви уређаји нису велики потрошачи електричне енергије тако да могу де се употребе различита батеријска напајања. Најбоље је да се користи комбинација литијум-јонских акумулаторских батерија и соларних панела за

пуњење батерија. С обзиром да је уобичајена електрична снага АМС око 1 W и мање, лако се долази до процене да је довољно да се употреби батерија од неколико Ah (амперчасова) и соларни панел површине 4-5 dm^2. Претходне тврдње о малој потрошњи у важности су само ако АМС не садржи сензоре са грејним телима, као што су на пример кишомери и анемометри са грејачем код којих грејачи служе за отапање снега и одлеђивање залеђених покретних делова. ***Комуникацијски интерфејс*** преко којега се обавља комуникација између рачунара и АМС такође, може да буде разнолик. И у овом случају је најповољнији ситуација када је АМС постављена у урбаној средини па је омогућено да се оствари директна кабловска веза између рачунара и АМС. У великом броју случајева овај услов није задовољен па се употребљава једна од три могућности бежичне комуникације, и то:

1) ***Радио веза*** у ултракатком опсегу таласних дужина. Овај вид бежичне комуникације је најпоузданији али је његова примена скопчана са тешкоћама процедуралног типа приликом добијања одобрења од надлежних институција за коришћење одређених таласних дужина јер овај опсег корист налази велики број јавних служби (војска, полиција, тахи, цивилне радио станице итд.);
2) ***Целуларна телефонија***, или како се код нас често назива ***мобилна телефонија***, је начин који има широку примену међутим он не може да се користи у ненасељеним просторима који нису покривени одговарајућим релејима и
3) ***Мобилна сателитска телефонија*** је свакако, најсавременији али и далеко најскупљи начин комуникације између АМС и рачунара. Због високе цене оваква комуникација се користи само у ретким случајевима. Међутим, развој технолигије иде ка смањењу цене овог типа комуникације.

Локална управљачка јединица је мање или више сложена тастатура помоћу која омогућује директно управљање са АМС. ***Локална меморија*** је унутрашња меморија самог уређаја у коју се смештају подаци очитани са сензора. Капацитет те меморије је различит али, с обзиром на природу мерења, често није потребно да она прелази вредност од неколико десетина килобајта, пошто у меморију тог капацитета може да се архивира неколико хиљада циклуса стандардних метеоролошких очитавања. Меморије које се користе у ове сврхе морају да имају особину да не изгубе садржај у случају нестанка напајања. У данашње време такав тип меморија је лако доступан али им је недостатак мала брзина одговора, односно кимуникације са микроконтролером. ***Сензори*** који се користе на АМС се, по принципу рада, сврставају у претвараче

неелектричних величина у електричне сигнале. Детаљан приказ ових сензора би савакако превазишао оквире уџбеничког штива па на овом месту неће да буде дат. Добијени електрични сигнали могу да буду ***аналогни*** (струјни, напонски или фреквентно модулисани) и ***дигитални***.



Слика 18.2 Аутоматска метеоролошка станица: 1 - електронски анемометар; 2 - електронски показивач правца ветра; 3 - електронски барометар; 4 - електронски хигрометар; 5 - електронски термометар; 6 - електронски кишомер; 7 – кутија непропустљива за воду у коју су смештени електронски делови (микроконтролер, меморија, комуникацијски интерфејс и тастатура); 8 – радио антена.

Као што је напоменуто у првој глави, на главним копненим аутоматским метеоролошким станицама се обично мере: атмосферски притисак, правац и брзина ветра, температура ваздуха, влажност ваздуха и количина падавина. За мерење ових величина АМС је опремљена одговарајућим сензорима као што је приказано на слици 18.2, где је: (1) ***Електронски анемометар*** код кога се фреквенција обртања калота мери уз помоћ пара LED (Light Emitting Diode – Светлећа диода) и фото диоде; (2) ***електронски показивач правца ветра*** код кога се положај ветруље, односно правац ветра, претвара у електрични сигнал помоћу одговарајућих релеја; (3) ***електронски хигрометар*** који најчешће ради на принципу мерења промене релативне диелектричне константе ваздуха са променом влажности ваздуха; (4) ***електронски термометар*** који

је најчешће платински термометар или термистор; (5) ***електронски кишомер*** са којим се количина падавина најчешће мери помоћу бројачког уређаја који пребројава колико се пута напуни и испразни суд чија је запремина позната; (6) ***електронски барометар*** који најчешће ради на принципу пиезоелектричног ефекта који се састоји у томе да неки кристали, попут кварца, имају ту особину да под дејством притиска индукују наелектрисање на својим површинама чија величина зависи од квантитативне вредности примењеног притиска.

18.3 Мерења помоћу пилот-балона, радио-сонди и метеоролошких ракета

Пилот-балонска мерења. Стандардни начин мерења ветра на висини је праћење неког објекта ношеног ваздушном струјом. Мањи балони (сл. 18.3) од природне или вештачке гуме (просечне масе 20, 30, или 100 gr), напуњени водоником, дижу се практично константном брзином и отклањају од вертикале у ону страну у који их ветар носи. Балон се прати теодолитом. У једнаким временским интервалима се учитавају углови нагиба (елевације) под којим се балон види у односу на хоризонт, као и угао азимута (угао балона према географском северу). Помоћу измерених углова и познатих висина балона могу се тригонометријски израчунати хоризонталне пројекције путање балона, а одатле смер и брзина ветра у слоју атмосфере између два узастопна нивоа мерења. Подаци о висинском ветру који се уносе у синоптичке карте,



Слика 18.3 Пилот-балон

обично репрезентују брзину ветра у слоју од приближно 1000 m дебљине. Хоризонталне размере простора који је покривен једним податком су 300-500 km. Приликом проласка кроз посматрани слој обично се обављају два до три осматрања. Грешке које се појављују у израчунавању средњег ветра настају услед недовољно тачног утврђивања положаја балона у два узастопна тренутка.

Употреба пилот-балона ограничена је на повољне временске прилике при чему се подразумева да је брзина дизања балона константна, што понекад није случај. Да би се тај недостатак отклонио, за истраживачке сврхе служе два теодолита, смештена на крају базе довољне дужине. Истовремено очитавање углова под којима се види балон с оба краја базе омогућује да се тригонометријским путем одреди положај балона у атмосфери без претходног познавања висине балона, а преко њега и смер и брзина ветра.

Радио-сондажна мерења. За разумевање процеса у атмосфери, а поготово за нумеричку прогнозу времена, неопходно је да се располаже са подацима о вредностима метеоролошких елемената на различитим висинама. Иако је до данас обављено више успешних експеримента у којима се до њих дошло мерењима са сателита за њихово оперативно прикупљање још увек су у употреби радио-сонде, а у посебним случајевима и метеоролошке ракете (сл. 18.4) опремљене одговарајућим сензорима.

Радио-сонда се састоји од елемената за мерење притиска, температуре и влажности ваздуха, уређаја за формирање сигнала, малог радио-предајника са батеријом и антене. Обешена о велики балон напуњен водоником, сонда се подиже увис док балон не пукне а затим се помоћу малог падобрана спушта на Земљу. Током читаве сондаже, радио-сонда се прати пријемним уређајем са Земље. Стандардно, сонда мери више од једног елемента током сваког циклуса мерења, па зато посебан уређај циклично пребацује сензоре један за другим у електрично коло одашиљача. Већина ових уређаја ради на фреквенцијама од 25 до 100 MHz, или изузетно на фреквенцији од 400 MHz. Да би могао да се мери и висински ветар неке модерније радио-сонде раде на фреквенцији 1680-1700 MHz.

На првим радио-сондама елементи за мерење били су: 1) биметал - за мерење температуре; 2) људска влас - за мерење релативне влажности ваздуха; и 3) анероидна кутија - за мерење атмосферског притиска. Анероидне кутије су претходно баждарене у односу на барометар, у распону од 1050 до 10 mb. За мерења атмосферског притиска на висинама већим од 26 km у сондама се користе хипсометри, који мере промену

температуре угљеник-дисулфида са променом атмосферског притиска. Механичке промене са ових елемената коришћене су за добијање одговарајућих електричних сигнала, тако да су сонде радиле као електро-механички уређаји. У новије време, приликом конструисања сонди постоји тенденција да се искључе механички елементи тако да сонда постаје у потпуности електронски уређај. Код ***електронских*** сонди се температура најчешће мери помоћу термометара отпора (проводници или полупроводници) или помоћу биметала. Инертност термометара је особина о којој се код радио-сондаже мора водити још више рачуна него код стандардних приземних мерења. Због мале густине ваздуха коефицијенти инерције су на висини већи него при тлу. На висини од 15 km коефицијенти инерције код свих термометара су приближно три пута већи него при тлу. Заштита од зрачења је такође веома важан предуслов за добро функционисање елемената за мерење температуре. Сам елемент треба да има што је могуће мањи коефицијент апсорпције зрачења, тако да топлоту средине може да прима претежно провођењем. Термистори су веома погодни за ову сврху јер због мале масе имају малу инерцију, а и грешке услед апсорпције зрачења су мање него код биметала. Недостатак им је у томе што нису довољно постојани. И код ових сонди се за мерење атмосферског притиска користе хипсометри са угљеник-дисулфидом. На притисцима испод 400 mb он кључа без загревања, па се температура кључања мери помоћу термистора. Највише коришћен елеменат за мерење влажности ваздуха у радио-сондама је пластична плочица пресвучена танким слојем литијум-хлорида. Отпор слоја литијум-хлорида мења се у границама од неколико мегаома до неколико килоома, у зависности од влажности ваздуха. С обзиром да је овај елеменат осетљив и на промене температуре, морају се уводити одговарајуће корекције. Осим литијум-хлорида могу да се користе и друга хигроскопна једињења којима се електрични отпор мења са променом влажности.

Приликом израде радио-сонде треба имати у виду да оне могу у јакој ваздушној струји да се удаље и до 200 km тако да је веома важно да предајник на сонди има одговарајућу снагу. Поред снаге значајне карактеристике радио-сонде су и: тачност, тежина и мала осетљивост на тешке услове рада. На пример, осетљивост предајника на велике промене температуре је фактор који је отежао увођење транзисторских предајника. Са друге стране, класични радио-предајници са електронским цевима захтевају знатно јачи извор електричне енергије. Због тога још увек преовлађују сонде које морају да носе велике батерије које представљају главни терет који балон мора да

носи. Према принципу рада разликују се четири главне групе радио-сонди: хронометријске сонде, кодне сонде, сонде са променљивом аудио-фреквенцијом и сонде са променљивом радио-фреквенцијом.

Ракетна мерења. Радио-сондажна мерења по правилу не прелазе висину од 30 до 35 km, па се за веће висине (400-500 km) употребљавају метеоролошке, односно геофизичке ракете (сл. 18.4). У самом врху метеоролошке ракете обично се налазе: отпорни термометар, топлотни манометар и електрични уређај за мерење интензитета Сунчевог зрачења, док су у телу ракете смештени: манометар, фотографски апарат, телеметријски уређај за пренос података на Земљу и радио одашиљач. У задњем делу се налазе резервоар са горивом и комора за сагоревање.

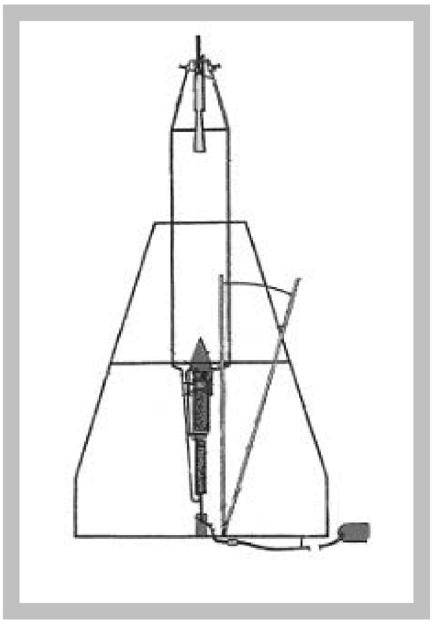
Ракета се обично испаљује готово вертикално са брзином од 5 до 6 маха. Један начин за одређивање температуре ваздуха и брзине ветра уз помоћ ракета јесте да се са ракета, на различитим висинама, у размацима од по 5 km, избаце мале гранате чије експлозије се региструју на Земљи. На основу разлике времена протеклог између експлозије и приспећа звучног таласа на Земљу одређује се брзина звука, а одатле и средња температура и средња брзина ветар у слоју између тла и висине на којој је граната експлодирала.

Када се ради о мерењима у мезосфери, на овај начин се добијају релативно тачни подаци са грешком од $\pm 10\ ^{o}C$ при одређивању температуре ваздуха и $\pm 5\ m\ s^{-1}$ при одређивању брзине ветра. Други метод се састоји у томе да се на висини између 120 и 150 km из ракете избаци кугла од метализиране полиетиленске фолије. Одмах након избацивања кугла се напуни малом количином гаса тако да јој пречник буде око 2 m. Вертикална брзина, v_z и убрзање кугле при паду dv_z/dt могу да се одреде помоћу радара, па се густина ваздуха, ρ на висини z одређује из једначине

$$\rho = \frac{2m\left(\frac{dv_z}{dt} - g_z\right)}{v^2 S c_x} \qquad (18.1)$$

где је: g_z – убрзање силе теже, S – површина попречног пресека кугле, c_x – бездимензиони коефицијент, а m – маса кугле. Овај метод даје задовољавајуће резултате на висинама од 75 до 100 km. Поред ових постоје и мање кугле пречника 15 cm које су опремљене телеметријским и уређајем за мерење убрзања тела, а који

служе за одређивање густине атмосфере. Током падања, ракете су обешене за метализирани падобран, на основу чијег кретања се помоћу радара одређује смер и брзина ветра. Брзина ветра може да се мери и помоћу танких жичица избачених из ракете. Праћењем лета ових жичица радаром се добијају поуздани подаци о брзини ветра у слоју од 65 до 90 km.



Слика 18.4 Метеоролошка ракета

Мерење сферика. Под ***сфериком*** се подразумевају електромагнетни таласи који су последица електричног пражњења (муња) из грмљавинских облака. Ови радио-таласи могу да се открију и на удаљеностима од више хиљада километара, а сферик-уређајима се одређује положај њиховог извора. За ту сврху служи радио-гониометријски уређај, који на катодној цеви показује смер одакле је дошао сферик-сигнал. Саставни део уређаја су две антене намештене под правим углом и оријентисане у смеру север-југ, односно исток - запад. Пријемник ових уређаја ради на фреквенцији од 10 kHz, а при сваком трагу сферика на екрану добија се и звучни сигнал, који се телефоном преноси у суседну станицу укључену у мрежу сферика. Звучни сигнал траје довољно дуго тако да и суседна станица може да очита азимут сигнала. У мрежи сферик-станица раде обично од две до четири станице међусобно удаљене од 500 до 1000 km, па се истовременим очитавањем сигнала удаљене грмљавине, у пресеку праваца на географској карти може одредити место извора сверика. Када грми, сферик-станице раде обично 10 минута пре сваког пуног сата.

18.4 Метеоролошки радари

Метеоролошки радари су изузетно корисни уређаји за детекцију и осматрање различитих временских система. ћелије невремена нпр., су сувише мале да би могле бити регистроване од стране широко распрострањене мреже осматрачких уређаја. Са друге стране, метеоролошки радар континуирано скенира веома широку област и може да лоцира мале и изоловане зоне падавина.

Метеоролошки радари региструју развој и дисипацију ћелија непогода, смер и брзину кретања, као и спиралне траке пљускова које се поклапају са ураганима. Радар не може директно да детектује торнадо, али у неким ситуацијама када је торнадо присутан, ехо кукастог облика може да се уочи на екрану радара. Овакав кукасти ехо у основи указује на пљускове који су усковитлани циркулацијом унутар неколико непогода.

Класификација радара може да се обави према: 1) броју коришћених антена (моностатички и бистатички); 2) принципу рада (импулсни радари, Доплерови и радари са континуираним емитовањем сигнала); и 3) намени (метеоролошки, радари за одређивање профила ветра итд.).

Под појмом ***моностатички*** радар подразумевају се радари код којих је једна антена искоришћена и за емисију и за пријем радарских сигнала. У случају ***бистатичких*** радара систем укључује две антене при чему су просторно одвојени предајник и његова антена од пријемника и одговарајуће антене.

Импулсни радари су они код којих предајник радара емитује кратак електромагнетни импулс, а затим чека ехо, тј. сигнал који се рефлектовао од посматраног објекта. Једна алтернатива за импулсне радаре су континуирани радари код којих су и емитовани сигнал и онај који стиже до пријемника континуални. Једини начин на који овај радар може да детектује објекат је да се повратни сигнал на неки начин разликује од емитованог. Најједноставнији случај је када се овај континуирани радарски сигнал одбије од објекта који је у покрету. Тада постоји мали померај у фреквенцијама између емитованог и примљеног сигнала који је пропорционалан брзини објекта у односу на радар (полицијски радари). Ово је уједно и једна од најзначајнијих могућности радара која је заснована на Доплеровом ефекту и која је искоришћена не само код континуираних, већ и код импулсних радара. Наиме, према Доплеровом ефекту, промена фреквенције таласа која је проузрокована померањем

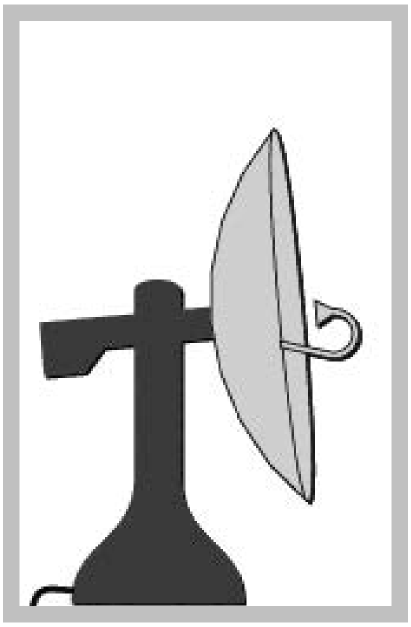
извора директно је пропорционална брзини извора. У случају радара је промена фреквенције радарског сигнала Δf узрокована кретањем посматраног објекта брзином V, дата у облику

$$\Delta f = \frac{2V}{\lambda} \tag{18.2}$$

где је λ - таласна дужина радарског сигнала. Импулсни Доплеров радар поседује све елементе као и обичан импулсни радар, али поред тога поседује и неке компоненте које му омогућују регистровање малих промена фреквенције. На овај начин радар пореди фреквенције примљеног и емитованог сигнала и одређује разлику фреквенција, а на основу тога и брзину којом се посматрани објекат креће.

Под метеоролошким радарима (сл. 18.5) се обично подразумевају моностатички, импулсни радари чија је првенствена намена мерење сигнала који у себи носи информацију о карактеристикама посматраног метеоролошког објекта, његовој оријентацији и удаљености.

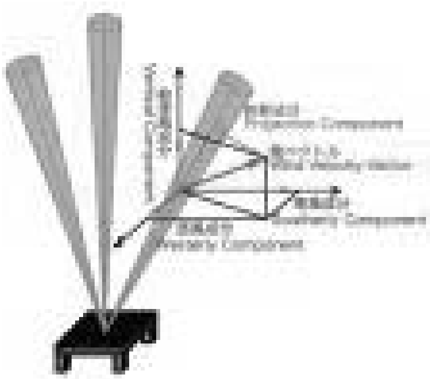
Након вишегодишњих тестирања, утврђено је да Доплеров радар нуди значајно бољу идентификацију временских феномена и да треба да уђе у оперативну употребу.



Слика 18.5 Метеоролошки радар

То је нарочито изражено када се ради о новим типовима метеоролошких радара као и радарима намењеним за одређивање профила ветра.

Радари за одређивање профила ветра (сл. 18.6) представљају нови тип радара који ради на релативно ниским фреквенцијама. Због изабраних таласних дужина ови радари су у могућности да региструју брзине ветра од тла до доње границе стратосфере континуирано. Такође су у могућности да на сваких 5 минута током 24 часа дају информације о профилима ветра које су нарочито драгоцене када се ради о тропосфери и доњим слојевима стратосфере у којима се и одиграва највећи део метеоролошких феномена значајних за време.



Слика 18.6 Радар за одређивање профила ветра

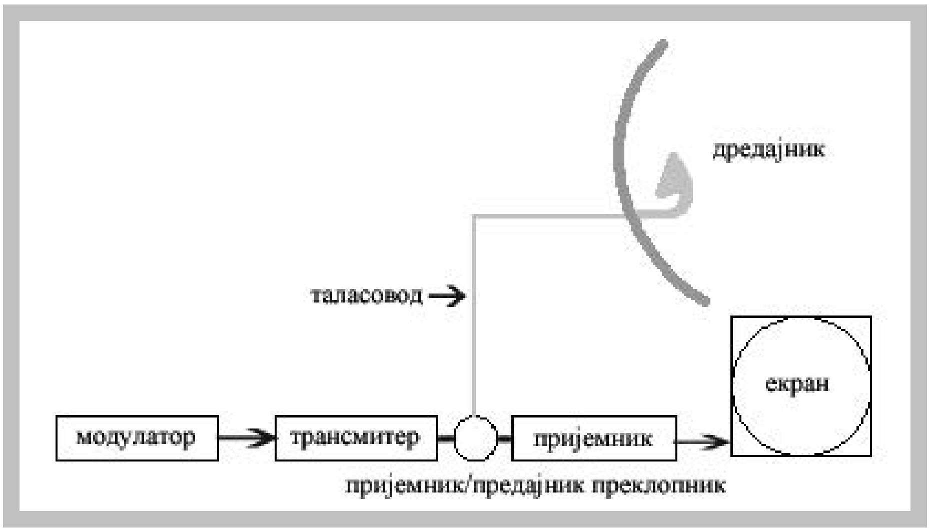
При испитивању унутрашње структуре облака, падавина, олујних и турбулентних зона наведене појаве, елементи и феномени се третирају као просторно распоређени метеоролошки објекти, док се као површински распоређени објекти обично третирају таласи на воденој површини, велики комади леда на воденој или чврстој подлози, граничне површине између облака и атмосферских вртлога и сл. Без обзира да ли се ради о просторно или површински распоређеним метеоролошким објектима, њихова удаљеност од радара се одређује на основу времена потребног да радарски сигнал пређе пут до објекта и да се врати, док се положај објекта одређује на основу оријентације фазног фронта одбијеног таласа. Метеоролошки објекти на које падају радарски сигнали делимично расејавају, а делимично појачавају ове сигнале, играјући улогу нових извора сигнала. Након судара са објектом мења се амплитуда, фреквенција, фаза и поларизација одбијеног сигнала.

Поред до сада наведених узрока, на појачање и расејање радарских сигнала у атмосфери могу утицати молекули гасова који су саставни део атмосфере, као и

различите примесе антропогеног или неког другог природног порекла. У циљу квантификовања расејања радарског сигнала на различитим објектима уведен је појам ефективне површине расејања која описује могућност објекта да расејава радарски сигнал и представља однос густине флукса зрачења расејаног у правцу пријемника у односу на флукс зрачења који је пао на објекат.

Метеоролошки радари су комплексни радиолокациони системи који се састоје од следећих подсистема: предајника, антене, таласовода, пријемник/предајник преклопника, пријемника и екрана (сл. 18.7).

Предајник је извор електромагнетских сигнала високих фреквенција које напуштају радарски систем. За метеоролошке радаре су најзначајнија следећа три типа предајника: магнетрон, клистран и кристални трансмитер. Комбинација различитих врста предајника код једног радарског система је уобичајена како би биле искоришћене предности више њих. Без обзира на тип, сваки предајник поседује модулатор који има задатак да укључује и искључује предајник и води рачуна о облику емитованог импулса. Једна од значајних карактеристика предајника је фреквенција понављања импулса (ФПИ) која даје број импулса у секунди и креће се у интервалу од 200 Hz до 300 Hz. Старији типови радара раде на фреквенцијама од 150 до 300 Hz док новији, Доплерови, радари раде обично у опсегу од 500 до 1500 Hz. Поред тога њихова дужина емитованог импулса је од 0,1 до 10 μs.



Слика 18.7 Структура радара

Антена усмерава емитовани радарски сигнал ка посматраном метеоролошком објекту. У паузама између два емитована сигнала, до антене радара сижу сигнали рефлектовани од објекта. Код неких радара (моностатичких) ове сигнале прима иста антена која их је и емитовала. Најчешће коришћена антена код метеоролошких радара је изотропна антена која емитује радарски зрак равномерно у свим правцима.

Таласовод је део антенског система чији је задатак да транспортује високофреквентне сигнале од предајника ка антени и од антене ка пријемнику. То је обично шупаљ, метални проводник четвртастог попречног пресека чије унутрашње димензије зависе од таласне дужине таласа који треба да буде транспортован.

Пријемник/предајник преклопник обезбеђује коришћење исте антене за пријем и емисију. Током рада предајника, преклопник прикључује таласовод на антенски систем и повремено затвара улаз на пријемник који на овај начин штити од снажних импулса са предајника који су често снаге од преко 1 MW. Између два импулса са предајника преклопник затвара улаз на предајник како би сва енергија долазећег сигнала била усмерене ка пријемнику с обзиром да већина радара прима сигнале чија је снага око 10^{-10} W или мање. Сам преклопник се налази у таласоводу између предајника и пријемника.

Пријемник је дизајниран да детектује и појача сигнал који је стигао до антене. Овај сигнал, комбинован са неким референтним сигналом погодно изабране фреквенције даје сигнал много мање фреквенције (30-60 MHz) који је лакши за манипулацију и који може да се транспортује до екрана и коаксијалним каблом уместо таласоводом.

Екран има првенствено задатак да визуелизује информације добијене анализом рефлектованих радарских сигнала, тј. радарског еха. Најједноставнији и први тип радарског екрана је екран осцилоскопа код кога су на X и Y - оси приказани време и интензитет сигнала, редом. Међу најуниверзалније екране за временске податке спада равански постављен, тзв. ***панорамски екран*** на коме може да се прати распоред облака и зоне падавина у хоризонталној равни на различитим удаљеностима. На кружном екрану се приказују информације које су доспеле на његов пријемник у виду мапе у чијем се центру налази радарски систем. Поред ротирајућег зрака, на екрану се појављују и подручја рефлексија од облачних система и падавина, као и низ концентричних кругова који означавају удаљеност посматраног објекта од локације радара. С обзиром да честице облака и падавина (па и аеросола) смањују енергију радарског снопа, долази до тзв. атенуације, која се изражава у децибелима (dB).

Атенуација је функција величине честица, а за магле и облаке из којих не пада киша обрнуто је пропорционална таласној дужини радарског зрака. Атенуатори на метеоролошким радарима омогућавају да се постепено мења атенуација радарског зрака у облаку, па се на тај начин могу лако одредити подручја повећане акумулације водених и ледених капљица. Интензитет радарског сигнала код старијих типова радара, са црно-белим екраном, је приказиван различитим нијансама сиве боје, а код новијих радара то је изведено коришћењем екрана у боји. Поред тога, велика предност нових екрана је могућност померања центра екрана са позиције у којој се налази радар на жељено место, као и зумирање изабраног подручја што омогућује уочавање детаља везаних за непогоде. Други тип екрана, који се често користи за проучавање вертикалног развоја облака је ***екран вертикалног пресека***. На оваквом екрану су на X и Y - оси приказани хоризонтална и вертикална удаљеност објекта од радара, редом. Овај екран омогућује вертикални приказ, за разлику од равански постављених екрена који дају хоризонтални приказ догађаја. За време рада овог екрана антена радара је фиксирана на одређени азимут и помера се само у вертикалној равни. Екран има поделу са хоризонталним (висине над тлом) и вертикалним (удаљености) линијама па се може локализовати горња и доња граница облака, облак у вертикалном пресеку и подручје падавина у облаку. И на том екрану је интензитет пропорционалан снази рефлектованог сигнала. Поред до сада наведених у употреби је и ***амплитудни екран*** који је заправо осцилограф на чијем се екрану, са координатама удаљеност-амплитуда, показује радарски сигнал одбијен од посматраног објекта. На овом екрану, поред примарно емитованог сигнала могуће је уочити и величину и удаљеност рефлектованог сигнала. Овим екраном, у комбинацији са остала два, може да се прати развој облака. Анализом одраза на радарским екранима могуће је установити не само врсту облака и њихов састав већ и интензитет падавина над неким подручјем, подручје атмосферских фронтова, тропских циклона итд. Код нових типова радара у екране су уграђени процесори који уз помоћ одговарајућих алгоритама омогућују да неке специфичне карактеристике непогода, као што су хазардни феномени (торнадо, град), буду на време уочене.

18.5 Метеоролошки сателити

У новијој историји метеорологије, лансирање првог метеоролошког сателита ТИРОС и (1. фебруар 1960. године) може да се сматра револуционарним догађајем. По први пут добијени су подаци о осматрањима атмосфере из свемира, и то толико јасни и прецизни као никада то тада. TIROS и био је претходник серија сателита који се све више употребљавају за анализу и прогнозу времена, упозерења од опасних временских појава и за истраживања у различитим областима науке.

Извор метеоролошких информација при посматрању Земље из Свемира јесу просторне, временске и угаоне промене интензитета електромагнетних таласа, рефлектованих или емитованих у систему атмосфера - Земља и у различитим деловима спектра. Сједињене Америчке Државе су увеле два основна типа сателита, од којих се један користи када се ради о ***сателитима у поларној орбити***, а други када је реч о ***геостационарним сателитима*** тј. сателитима који ротирају у екваторијалној равни. Први је тзв. ITOS (Improved TIROS Operational Satelite Syistem - Унапређени TIROS Операциони Сателитски Систем), чија је орбита релативно ниска (1432-1472 km). Сателити типа ITOS опремљени су са две камере за аутоматско одашиљање снимака. Те снимке на површини Земље директно прима мрежа од 800 станица за аутоматски пријем и одашиљање слике (APT - Automatic Picture Transmission) распоређених у седамдесетак држава. Једна оваква пријемна станица налази се и у Београду. Овим сателитима је потребно само 12 сати за снимање глобалне мапе облака. Поред осталих мерних уређаја, сателити типа ITOS имају и радиометар за мерење топлотног биланса Земље.

Други тип сателита састоји се од геостационарних метеоролошких сателита SMS (Синхронизовани Метеоролошки Сателит - Synchronous Meteorological Satellite) и GEOS (Геостационарни Операцинални Еколошки Сателит - Geostationary Operational Environmental Satellite), који се налазе изнад одређених тачака у близини екватора на висини од око 36000 km. Овај систем је део Светског програма истраживања атмосфере (SPIA) (Global Atmospheric Research Programme, GRAPP) под покровитељством Уједињених Нација а укључује и геостационарне сателите земаља Европске Уније, Русије и Јапана.



Слика 18.8 Снимак примљен са метеоролошког сателита METEOSAT 7, 28. јуна 2000. године

На слици 18.8 је приказан снимак примљен 28. јуна 2000. године са геостационарног метеоролошког сателита METEOSAT који се налази 36 000 km изнад екватора на 0^o географске дужине. Снимак приказан на слици 18.8 је направљен у видљивом делу спектра (0,40 - 0,76 μм). Најзанимљивија појединост која може да се уочи на овом снимку је облачни појас који означава интертропску зону конвергенције која се простире непосредно изнад екватора.

Сателити SMS типа имају телескоп-радиометар за инфрацрвену и видљиву фотографију високе резолуције и комуникациони систем за сакупљање и слање података. Слични њима су сателити GEOS који имају побољшане комуникационе уређаје. Геостационарни сателити таквог склопа омогућавају континуирано посматрање облачног покривача Земље на великом пространству, мерење висине и дебљине облака и дању и ноћу, одређивање брзине ветра на основу брзине кретања облака, одређивање температуре Земљине површине и интензитета краткоталасног зрачења одбијеног од површине Земље, као и добијање података о билансу зрачења у систему Земља - атмосфера.

Развој сателитске метеорологије је све више усмерен у правцу аутоматске обраде података и слања података у дигиталном облику. То је и основни разлог зашто је на сателитима напуштен телевизијски систем за праћење облака, већ се прешло на скенерске радиометре. У оквиру Програма глобалног истраживања атмосфере (PGIA)

(енгл. GARP - Global Atmospheric Research Program) сателити ће бити веома важни за пријем и пренос података са балонских сонди, морских бова и аутоматских метеоролошких станица.

18.6 Контролна питања

1. Када се користе аутоматске метеоролошке станице?
2. Навести основне конструкционе целине од којих се састоји аутоматска метеоролошка станица.
3. На које се начине може обављати комуникација са аутоматским метеоролошким станицама?
4. Која је улога микроконтролера у аутоматским метеоролошким станицама?
5. Шта су висинска мерења?
6. У коју сврху се обављају радио-сондажна мерења?
7. Који сензори се користе за мерење температуре и влажности ваздуха у радио сондама?
8. Који сензори се користе за мерење атмосферског притиска у радио-сондама?
9. Који сензори се користе мерење температуре и влажности ваздуха на метеоролошким ракетама?
10. Које су предности ракетних у односу на радио-сондажна мерења?
11. Шта су радари?
12. Како су класификовани радари?
13. Шта су предности а шта недостаци Доплерових радара?
14. Који су најзначајнији елементи радарског система?
15. На ком принципу се обавља мерење појединих метеоролошких елемената са сателита?
16. Шта су геостационарни сателити?

КОРИШЋЕНА И НАВЕДЕНА ЛИТЕРАТУРА

Грабоский, Р.И., 1974: Курс Физики. Москва, Вюсшая школа, 356 стр.

Евневич, Т.Б., Полтарус, Б.В. и Самойленко, В.С., 1981: Метеорологический практикум. Москва, Издателъство Московского Университета, 176. стр.

Колмогоров, А.Н., 1950: К вопросу об определении козффициента температуропроводности почвы. Известия Академии Наук, Серия географическая, Том XIV, Но. 2, 97-98.

Константинов, А.Р., 1968: Испарение в природе. Ленинград, Гидрометеорологическое издательство, 532 стр.

Стерзант, М.С., 1978: Метеорологические приборы и измерения. Ленинград, Гидрометеоиздат, 392.

Acs, F. i Mihailović, D.T., 1983: Calcilation of soil thermal changes. Idojaras, Vol. 87, No. 4, 200-205.

Acs, F. i Mihailović, D.T., 1985: Određivanje energetskog bilansa u okolini Novog Sada primenom Bowenovog metoda. Zbornik meteoroloških i hidrometeoroloških radova, No. 11, 22-29.

Coulson, K.L., 1975: Solar and terrestrial radiation. New York, San Francisco, London, Academic Press, 322 str.

Czelnai, R., 1981: Bevezetes a meteorologiaba III (A meteorologia eszközei es modszerei). Budapaest, Tankönyvkiado, 372 str.

Ćulum, Ž., 1980: Merne jedinicei merila SI (Sistem Internacionalni). Novi Sad, Zavod za izdavanje udžbenika, 106. str.

Đorđević, N., 1986: Primena meteorologije u inženjerstvu. Beograd, Prirodno matematički fakultet Univerziteta u Beogradu i Jugoslovenski zavod za produktivnost rada, Beograd, 170 str.

Gburčik, P., 1975: Meteorološki instrumenti i osmatranje. Beograd, Izdavački-informativni centar studenata, 182 str.

Hočevar, A. i Petkovšek Z., 1977: Meteorologija . Ljubljana, Partizanska kniga, 219 str.

Izveštaj Radne grupe Kolegijuma direktora hidrometeoroloških zavoda, 1984: O problemima organizacije i statusa i zadacima hidrometeorološke službe Jugoslavije (II deo: Meteorološka i hidrometeorološka osmatranja u hidrometeorološkoj službi Jugoslavije). Za radnu grupu: M. Jovašević, Beograd, Savezni hidrometeorološki zavod, 99 str.

Janjić, Z. I. i Petrović, D., 1985: Organizacije i tehnologija prognoze vremena. Naučno-tehnički pregled, Vol. 35, No. 9, 41-45.

Katić, P. i Đaković, P., 1978: Praktikum iz meteorologije i klimatologije (Osnove merenja i obrade meteoroloških elemenata). Novi Sad, Poljoprivredni fakultet u Novom Sadu, 205 str.

Katić, P., Đukanović, D. i Đaković, P., 1979: Klima SAP Vojvodine. Novi Sad, Poljoprivredni fakultet u Novom Sadu - OOUR Institut za ratarstvo i povrtarstvo, 237.

Katić, P., Đaković, P. i Dunđerov, N., 1979: Ispitivanje odnosa globalnog sunčevog zračenja, osunčavanja i oblačnosti u SAP Vojvodini. U: Zbornik radova simpozijuma "Solarna energija u agroindustrijskom kompleksu", Zrenjanin, 1978, 47-62.

Krikham, D. i Powers, W.L., 1972: Advanced soil physics. New York, Interscience, 534 str.

Mac Cracken, M. C., 1985: Carbon dioxide and climatic change (Background and overview). The potential climatic effects of increasing carbon dioxide, Editors: M.C. MacCracken and F. M. Luther, Washington, Unites States Department of Energy, 3-22.

Mihailović, D. T., 1983: O kalibraciji gipsanih blokova u laboratorijskim uslovima. Savremena poljoprivreda. Vol. 31, Br. 7-8, 325-328.

Mihailović, D.T., i Acs, F., 1984: A contribution to the relation between global radiation and sunshine duration or cloudiness. Idojaras, Vo. 88, No. 3, 134-138.

Mihailović, D.T., i Acs, F., 1985: Energy balance compoments over winter wheat near Novi Sad. Reseach Reports, Biotechical faculty, University Edvard Kardelj of Ljubljana, Suppl. 10, 93-96.

Mihailović, D.T., Acs, F. i Kovačević, B., 1985: Latent heat flux and global radiation above soybean canopy. U: Proceedings of the 12 th International Conference on Carpathian Meteorology, Beograd, 1985, 220-222.

Milosavljević, M., Katić, P., Stanojević, i Todorović, N., 1981: Agroklimatske zone u proizvodnji pšenice u Vojvodini.U: Zbornik radova sa naučnog skupa "Ekosistemi i mogućnost njihovog racionalnog korišćenja", Novi Sad, 1978, 85-105.

Monteith, J.L., 1975: Principles of environmental physics. London, Edward Arnold, 241 str.

Munn, R.E., 1970: Biometeorological methods. New York and London, Academic Press, 336 str.

Otorepec S., 1973: Prilog pročavanju agroklimatskih uslova vlaženja u Jugoslaviji po hidrotermičkom koeficijentu Seljaniniva. Arhiv za poljoprivredne nauke, Sv. 96, 145-156.

Otorepec S., 1980: Agrometeorologija. Beograd, Nolit, 231 str.

Radinović, Đ., 1981: Vreme i klima Jugoslavije. Beograd, Gradjevinska knjiga, 421 str.

Radinović, Đ., 1984: Klimatologija (Opšta i regionalna). Beograd, Prirodno matematički fakultet Univerziteta u Beogradu i Jugoslovenski zavod za produktivnost rada i informacione sisteme, 236 str.

Savić, S., 1979: Klimatska klasifikacija Jugoslavije po Köppenu. Prilozi poznavanju vremena i klime SFRJ, Savezni hidrometeorološki zavod, Beograd, Sv. 7, 1-36.

Sellers, W.D., 1965: Physical climatology. Chicago. The University of Chicago Press, 272 str.

SHMZ (Savezni hidrometeorološki zavod), 1974: Uputstvo za osmatranja i merenja na glavnim meteorološkim stanicama. Beograd, Savezni hidrometeorološki zavod, 221 str.

Stojković, M., 1976: Net-pirradiometar-bilansmetar Šulce (Schulze). Beograd, Savezni hidrometeorološki zavod, 85 str.

Tehnička enciklopedija,

Vučić, N., 1976: Navodnjavanje poljoprivrednih kultura (Osnove dopunskog navodnjavanja). Novi Sad, Poljoprivredni fakultet u Novom Sadu, 439 str.

WMO (world Meteorological Organization), 1972: The application of micrometeorology to agricultural problems. Geneva, WMO No. 298, 74 str.

WMO (World Meteorological Organization), 1975: Drought and agriculture. Geneva, WMO No. 392, 89 str.

WMO (World Meteorological Organization), 1977: Radiation regime of inclined surfaces. Geneva, WMO No. 437, 82 str.

WMO (World Meteorological Organization), 1977: The scientcific planning and organization of precipitation enhacement experiments, with particular attention enhancement experiments, with particular attention to agricultural needs. Geneva, WMO No. 478, 88 str.

WMO (World Meteorological Organization), 1978: Techniques of frost prediction and methods of frost and cold protection. Geneva, WMO No, 169 str.

Yavorsky, B. i Detlaf, A., 1975: Hadbook of physics. Moscow, Mir Publishers Moscow, 1131 str.

РЕГИСТАР ПОЈМОВА